

## 김밥에서의 *Staphylococcus aureus*에 대한 정량적 미생물위해평가 모델 개발

박경진 · 오덕환<sup>1</sup> · 하상도<sup>2</sup> · 박기환<sup>2</sup> · 정명섭<sup>3</sup> · 천석조<sup>3</sup> · 박종석<sup>4</sup> · 우건조<sup>4</sup> · 홍종해<sup>5,\*</sup>

National Food Safety & Toxicology Center, Michigan State University, <sup>1</sup>강원대학교 바이오산업공학부,

<sup>2</sup>중앙대학교 식품공학과, <sup>3</sup>한국보건산업진흥원, <sup>4</sup>식품의약품안전청, <sup>5</sup>강원대학교 수의학과

### Quantitative Microbial Risk Assessment Model for *Staphylococcus aureus* in Kimbab

Gyung-Jin Bahk, Deog-Hwan Oh<sup>1</sup>, Sang-Do Ha<sup>2</sup>, Ki-Hwan Park<sup>2</sup>, Myung-Sub Joung<sup>3</sup>,  
Suk-Jo Chun<sup>3</sup>, Jong-Seok Park<sup>4</sup>, Gun-Jo Woo<sup>4</sup>, and Chong-Hae Hong<sup>5,\*</sup>

*National Food Safety & Toxicology Center, Michigan State University*

*School of Biotechnology and Bioengineering, Kangwon National University*

*<sup>2</sup>Department of Food Science and Technology, Chung-Ang University*

*<sup>3</sup>Korea Health Industry Development Institute*

*<sup>4</sup>Korea Food and Drug Administration*

*<sup>5</sup>Department of Veterinary Medicine, Kangwon National University*

Quantitative microbial risk assessment (QMRA) analyzes potential hazard of microorganisms on public health and offers structured approach to assess risks associated with microorganisms in foods. This paper addresses specific risk management questions associated with *Staphylococcus aureus* in *kimbab* and improvement and dissemination of QMRA methodology. QMRA model was developed by constructing four nodes from retail to table pathway. Predictive microbial growth model and survey data were combined with probabilistic modeling to simulate levels of *S. aureus* in *kimbab* at time of consumption. Due to lack of dose-response models, final level of *S. aureus* in *kimbab* was used as proxy for potential hazard level, based on which possibility of contamination over this level and consumption level of *S. aureus* through *kimbab* were estimated as 30.7% and 3.67 log cfu/g, respectively. Regression sensitivity results showed time-temperature during storage at selling was the most significant factor. These results suggested temperature control under 10°C was critical control point for *kimbab* production to prevent growth of *S. aureus* and showed QMRA was useful for evaluation of factors influencing potential risk and could be applied directly to risk management.

**Key words:** quantitative microbial risk assessment (QMRA), *Staphylococcus aureus*, *kimbab*, exposure assessment, risk management

### 서 론

식품의 안전성 확보는 국민건강 보호차원에서 사회적으로 매우 중요한 과제로 특히, 병원성 미생물을 익품안전사건·사고 원인의 대부분을 차지하고 있는 것이 현실이다. 하지만 익품의 생산 및 유통은 물론 소비단계에서 이를 병원성 미생물에 대한 관리가 어렵다는 것은 많은 익품매개질병 발생사건을 통하여 알려져 왔다. 이는 이를 병원성 미생물의 오염과 증식 그리

고 사멸에 있어 많은 변이성(variability)과 불확실성(uncertainty)을 포함하고 있기 때문이다. 이와 같은 특성을 고려하여 이를 병원성 미생물을 제어·관리할 수 있는 최신의 방법으로 정량적 미생물위해평가(Quantitative microbial risk assessment: QMRA)에 기초한 분석 및 평가시스템이 제시되고 있다. QMRA는 어떤 특정 병원성 미생물에 오염된 익품을 섭취하는 경우, 그 병원성 미생물에 의해 감염 또는 질병이 일어날 확률, 즉 위험을 과학적으로 그리고 정량적으로 평가하는 것을 말한다(1-3). 현재 QMRA는 익품안전평가 분야에 있어 국제적으로 가장 과학적인 차세대 기술로 인정되고 있다. FAO/WHO 등 국제기구에서는 *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* 등 일부 병원성 미생물에 대한 microbial risk assessment를 실시하는 등 국제적으로 QMRA의 이론 및 방법이 정립되어 가고 있다(4,5). QMRA 일반절차는 Codex원칙과 지침(2)에 따라 4가지 구성요소 즉, 유해

\*Corresponding author: Chong-Hae Hong, Department of Veterinary Medicine Kangwon National University, 192-1 Hyoja 2-dong, Chunchon, Kangwon-Do 200-701, Korea

E-mail: hongch@kangwon.ac.kr

Tel: 82-33-250-8658

Fax: 82-33-244-2367

확인(Hazard identification), 노출평가(Exposure assessment), 유해특성평가(Hazard characterization, dose-response assessment), 위해특성평가(Risk characterization)로 구성되어 있다.

QMRA에 대한 일반적인 접근은 시간, 온도, 병원성 미생물 오염수준 등과 같은 중요한 risk factor에 대한 변이성과 불확실성을 모델화하기 위하여 확률분포를 이용하고 컴퓨터 스프레드시트에서 @RISK 등과 같은 전문 프로그램을 이용 시뮬레이션하는 것이다(6). 최근 국내외적으로 식품안전관리체계의 개선이 요구되고 있으며, 병원성 미생물 관리의 경우 정량적 위해평가 방법의 적용이 개선을 위한 방법의 하나이다(7,8). 또한 병원성 미생물에 의한 국내 식중독 발생의 경우 계속적으로 증가 추세에 있으며(9) Park 등(10)에 의한 식중독 경험에 관한 설문조사 결과 조사대상자의 12.4%는 연 1회 이상 식중독을 경험하였으며, 0.3%는 식중독으로 인해 병원에 입원하는 것으로 조사되었다. 이는 많은 국민이 오염된 식품 섭취에 따른 병원성 미생물에 노출되고 있다고 볼 수 있다. 하지만 그 수준이 어느 정도인지 그리고 어떤 병원성 미생물 또는 어떤 식품이 국민 건강에 가장 큰 위해인자에 대한 정량적인 위해평가는 이루어지지 않은 상태이다.

따라서 본 연구는 국내 식품안전 관리를 위한 QMRA 적용 방법을 제시하기 위하여 최종 섭취 시 가열조리를 필요로 하지 않아 일반적으로 위해가 를 것으로 추정되는 즉석식품(ready-to-eat foods) 중 일반국민들의 섭취량과 선호도가 큰 김밥을 선정하였다. 대상 미생물은 김밥에서 가장 쉽게 오염되는 것으로 알려진 *Staphylococcus aureus*를 선정하였고, 정량적 위해평가를

실시하여 이 결과를 바탕으로 risk management 차원에서 김밥에서 *S. aureus*에 대한 위생관리 기준을 제시하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 모델 구성

김밥에서의 *S. aureus* 오염수준 추정을 위한 정량적 미생물 위해평가 모델(QMRA)은 Table 1 및 Fig. 1과 같다. 본 QMRA 모델은 매장에서부터 최종섭취까지(retail-to-table)의 연속된 경로로서 매장에서의 초기오염수준 단계(node 1), 매장 보관 중의 성장 단계(node 2), 구매 후 최종 섭취하기까지의 성장 단계(node 3), *S. aureus*에 오염된 김밥의 섭취 수준 단계(node 4)로 총 4개의 node로 구성되어 있다(Table 1). 각각의 단계에서 이용된 수식과 입력변수는 Excel(Microsoft@Excel 2000, Microsoft Corp., Redmond, WA, USA) spreadsheet 프로그램에서 작성하였다(Fig. 1). 본 모델은 Vose(6)의 이론을 기본적으로 적용한 stochastic 모델로서 Monte Carlo simulation에 의하여 분석되었으며, 또한 입력 값과 출력 값은 본 모델에 존재할 수 있는 불확실성과 다양성을 나타내기 위하여 확률분포의 개념으로 표현되었다. 각각의 node에서 이용된 확률분포모델은 이용 가능한 자료를 바탕으로 @RISK(Version 4.5, Palisade, Newfield, NY, USA)에서 fitting을 거쳐 최종적으로 선정하였다(11).

### 입력 변수

**Node-1(Retail) 매장에서의 초기오염수준 단계:** 본 모델의 1

Table 1. Model design used in the quantitative microbial risk assessment for *S. aureus* in kimbab

Node	Unit operation	Description				
1	Retail					The initial contamination of kimbab with <i>S. aureus</i> at retail
2	Selling					The growth of <i>S. aureus</i> in kimbab storage during at retail stores
3	Serving					The growth of <i>S. aureus</i> in kimbab until the consumption
4	Consumption					The estimate of probability of consumption of kimbab contaminated with <i>S. aureus</i>

A	B	C	D	E	F	G
1	Unit operation	Unit	Formula	Input 1 (Incidence)	Input 2 (Extent)	Output
2	Retail		Log CFU/g	Discrete(0.1, {55,45})	BetaGeneral(0.29225, 0.26805, 2.61, 3.5) IF(E3=0,0,ROUNDDOWN(F3,0))	
3	Selling	Time	Hour			
4		Temperature	C		Invgauss(2.4796, 0.71011, RiskShift(-0.16479))	
5		Growth			Trang(16.239, 20, 31.189)	
6	LPD (Lag phase duration)	Hours	M-(1/B)			
7	GT (Generation time)	Hours	Log(2)/e/BC			
8	EGR (Exponential growth rate)	Log (CFU/g)/hr	BC/e			
9	MFD (Maximum population density)	Log (CFU/g)	A+C	9.000		
10	B	Log (CFU/g)/hr		B=0.406562-0.050259*F6+0.00383*F6^2		
11	M	Hours		M=2.477147-1.744703*F6+0.037877*F6^2		
12	C	Log CFU/g		E12-G4		
13						
14						
15						
16	Final products contamination level	Log CFU/g	Gomertz F			Y=G3+(E14*E*P(-EXP(-E12*(F5-E13))));
17						
18	Serving	Time	Hour	Discrete(0.1,{87.89,12}) Normal(161, 0.78)		
19		Temperature	C		RiskTrang(16.239, 20, 31.189)	
20		Growth				
21	LPD (Lag phase duration)	Hours	M-(1/B)			
22	GT (Generation time)	Hours	Log(2)/e/BC			
23	EGR (Exponential growth rate)	Log (CFU/g)/hr	BC/e			
24	MFD (Maximum population density)	Log (CFU/g)	A+C	9.000		
25	B	Log (CFU/g)/hr		B=0.406562-0.050259*F19+0.00383*F19^2		
26	M	Hours		M=2.477147-1.744703*F19+0.037877*F19^2		
27	C	Log CFU/g		E24-G16		
28						
29	Consumption	Log CFU/g	Gomertz F			Y=G16+(E27*EXP(-EXP(-E25*(G16-E26)))

Fig. 1. Cell addresses and formulas, which are constructed in Excel spreadsheet, used in the quantitative microbial risk assessment for *S. aureus* in kimbab.

**Table 2. Survey of the incidence and extent of *S. aureus* in kimbab during 2004 in Korea<sup>12)</sup>**

Level (log cfu/g)	No. of samples
ND	11
2.61	1
2.65	1
2.77	1
2.84	1
3.16	1
3.27	1
3.47	1
3.48	1
3.5	1

*S. aureus* was detected in 9 out of 20 samples.

ND = not detected.

단계는 일반 매장에서 판매되는 김밥에서의 *S. aureus*에 대한 오염수준 및 오염발생 정도를 평가하는 것으로 이 단계에서 이 용된 초기오염수준에 대한 모니터링 결과는 Park 등(12)의 조사 결과를 이용하였다. 이 자료는 2004년도 경기도 남부지역 김밥매장의 김밥에 대하여 *S. aureus* 등의 오염수준을 정성적 방법과 정량적 방법으로 분석한 자료로, 비록 일부 연구자에 의한 김밥에서의 모니터링 자료가 있지만 Park 등(12)의 조사 결과가 최근의 분석 자료로서 최근 국내의 현실을 반영할 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다. 또한 다른 연구와 달리 정량적인 결과를 포함하고 있기 때문에 QMRA의 목적에 가장 적합한 것으로 사료되어 이 자료만을 이용하였다. 본 연구에서 대상으로 하는 김밥은 활용 가능한 자료의 제한으로 일반매장에서 판매되는 즉석김밥으로 한정하였다. Park 등(12)의 조사결과를 바탕으로 @RISK를 이용하여 적절한 확률분포(Best fit parameter)를 선정하기 위한 fitting과정을 실시하였다. 그 결과 오염수준에 가장 적합한 확률분포모델로 BetaGeneral(0.29225, 0.26805, 2.61, 3.5)이 선정되었고, 오염발생 정도의 경우 양성율이 45% (9/20)로 나타나 discrete({0,1},{55, 45}) 확률분포모델을 이용하여 QMRA 모델에 적용하였다(Fig 1).

**Node-2(Selling) 매장 보관 중의 성장 단계:** 본 모델의 2 단계는 매장 보관 중 *S. aureus*의 성장이 어느 정도 발생하는지를 평가하는 것이다. Node-2에서 중요한 risk factor는 매장에서의 김밥 보관시간 및 온도이다. 따라서 이 단계에서는 매장에서의 김밥 보관시간과 보관온도 그리고 김밥에서의 *S. aureus*의 성장모델을 필요로 한다. 일반매장에서의 김밥 보관시간 및 온도에 대한 자료는 2004년도 수도권 및 중부지역 김밥매장을 대상으로 김밥 제조 후 판매까지의 시간 및 보관온도를 조사한 Oh 등(13)의 조사결과를 이용하였다(Table 3).

이들 자료를 바탕으로 @RISK를 활용하여, 보관시간은 Invgauss (2.4786, 0.71011) Shift = -0.16479, 보관온도는 Triang(16.239, 20, 31.189)<sup>13)</sup> 가장 적절한 확률분포로 선정되어 이들을 QMRA 모델에 적용하였다(Fig. 1). 김밥에서의 *S. aureus*의 성장모델은 Jin 등(14)의 실험결과를 이용하였으며(Table 4), 이 실험결과를 다음의 Gompertz 식 (1)에 적용하기 위하여 SAS(version 8.0, SAS institute, Cary, NC, USA)의 response surface procedure를 이용 아래와 같이 온도와 시간에 따른 B값과 M값에 대한 2차 모델을 작성하였고(15), 이를 Fig. 1에서 보는 바와 같이 QMRA 모델에 적용하였다. 또한 본 연구에서 이용한 김밥에서의 *S.*

**Table 3. Survey results of the storage time and temperature in kimbab restaurants during 2004 in Korea<sup>13)</sup>**

Statistic	Time (hr)	Temperature (°C)
Mean	2.31	22.5
Mode	0.069	20.0
Median	0.78	22.0
Std deviation	4.63	3.17
Variance	21.44	10.08

**Table 4. The results of growth rate, lag time, and total growth amount of *S. aureus* experienced in kimbab<sup>14)</sup>**

Temperature (°C)	Growth rate (Log cfu/g/hr)	Lag time (hr)	Total growth amount (Log cfu/g)
6	0.03	21.17	0.87
8	0.14	6.30	1.24
10	0.23	4.30	1.55
12	0.33	2.64	2.12
14	0.46	2.48	2.18
16	0.53	1.33	2.36
18	0.84	0.98	2.30
20	1.18	0.85	2.70
22	1.39	0.81	2.54
25	1.67	0.65	2.40

*aureus* 성장 모델은 PMP(Pathogen Modeling Program, ver 7.0, USDA, USA)를 이용하여 비교하였다.

$$L(t) = A + C \exp(-\exp(-B(t - M))) \quad (1)$$

$L(t)$  = The base 10 log count of bacteria as a function of time: Log cfu/g

$A$  = The starting value of the base 10 log count of bacteria: Log cfu/g

$C$  = The total amount of growth experienced as bacteria count asymptotically approaches its maximum value (MPD - A): Log cfu/g

MPD = Maximum population density: 9 Log cfu/g

$B$  = The growth rate in Log cfu/g/hr: in this model defined as  $0.406562 - 0.050259 * Tm + 0.003830 * Tm^2$  ( $R^2 = 0.9898$ )

$t$  = Time (hr)

$M$  = The time at which the bacteria growth rate is maximum, hr: in this model defined as  $21.477147 - 1.7447033 * Tm + 0.037877 * Tm^2$  ( $R^2 = 0.9908$ )

$Tm$  = Temperature (°C)

**Node-3(Serving) 구매 후 최종 섭취까지의 성장 단계:** 본 모델의 3 단계는 일반소비자가 구입한 김밥을 최종 섭취하기까지의 *S. aureus* 성장이 어느 정도 발생하는지를 평가하는 것이다. 이 단계에서는 2단계에서와 마찬가지로 구매한 김밥에 대한 소비자의 보관시간과 보관온도 그리고 김밥에서의 *S. aureus*의 성장모델을 필요로 한다. 우리나라 일반 소비자의 경우 김밥을 구입한 후 바로 섭취하는 경우는 87.99%이고 일정기간 경과 후 섭취하는 경우는 12.11%로 나타나(13) discrete 확률분포를 이용하여 Discrete({0,1},{87.89,12.11})로 적용하였다. 일정

기간 경과 후 섭취하는 경우는 평균  $1.61 \pm 0.78$ 시간으로 조사되어(13) normal( $1.61, 0.78$ )로 QMRA 모델에 적용하였다. 최종 섭취까지 김밥에서의 *S. aureus*의 성장모델은 2단계에서 이용한 Gompertz 식을 그대로 적용하였다.

#### Node-4(Consumption) *S. aureus*에 오염된 김밥의 섭취수준

**단계:** 원칙적으로 이 단계는 QMRA의 4단계 중 마지막 단계인 risk characterization에 해당된다. 따라서 이 경우 양-반응 모델(dose-response model)을 이용하여 김밥 섭취에 따른 *S. aureus* 및 *S. aureus*에 의해 생성된 enterotoxin에 의한 식중독 발생가능성을 추정하여야 한다(16,17). 하지만 *S. aureus*의 경우 양-반응 모델에 대한 자료 부족으로 정확한 QMRA를 수행하는 것은 어려운 것으로 보고되고 있다(18). 식중독균은 크게 감염형(infectious)과 독소형(toxigenic)으로 구분되는데, 감염형은 식품이 식중독균에 오염되어 증식한 균을 식품과 함께 섭취했을 때 발생하며 살아 있는 세균이 관여하며, 독소형은 식중독균이 사멸해도 그 대사산물인 독소가 남아 있으면 식중독을 일으킬 수 있으므로, 형성된 독소가 더욱 문제가 된다. 이로 인해 양-반응 관계도 이를 유형에 따라 접근 방법을 달리 하여야 한다. *S. aureus*의 경우 독소형 식중독균으로 이 균에 의한 독소형 양-반응 모델의 경우 균수와 환경 조건에 따른 독소의 생성량, 그리고 이로 인한 반응의 정도를 정량하는 것이 아직 연구 과제로 남아 있다(17,19). 따라서 현재까지 독소형 식중독균에 대해서는 감염형과는 다른 방법으로 양-반응 평가가 이루어지고 있다. *S. aureus*와 유사한 독소형 식중독균의 하나인 *Bacillus cereus*에 대한 연구에서는 역학 자료로부터의 각 식중독균량에 대한 발생율, 감염률(attack rate)을 이용하여 양-반응 평가를 하고 있다(20). 하지만 대표적인 독소형 식중독균인 *S. aureus* 및 이 균에 의해 생성된 enterotoxin에 대한 어떠한 양-반응 모델도 연구되어 있지 않다(18). 또한 식중독을 일으킬 수 있는 충분한 양의 SET 생성의 경우도 식품 중 *S. aureus* 오염수준과의 관계가 정확하게 알려져 있지 않으며 연구자에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. Anunciaca 등(21)과 Wall과 Scott(19)는 6 log cfu/g 정도 오염된 식품에서 식중독을 일으키기에 충분한 SET가 생성된다고 보고하였으나 Gockler 등(22)과 Otero 등(23)은 더 높은 수준의 오염이 있어야 충분한 SET가 생성된다고 보고하여, 독소에 의한 식중독 발생의 최소 균수를 확인하기 위해서는 더 많은 연구검토가 요구되고 있다. 본 연구에서는 보다 더 안전한 수준을 확보하기 위하여 Anunciaca 등(21)과 Wall과 Scott(19)의 제안수준보다 한 단계 낮은 5 log cfu/g를 안전수준으로 설정하였고, 또한 이 값 이상인 6, 7, 8, 9 log cfu/g 이상의 섭취가능성도 어느 정도인지를 QMRA 모델의 시뮬레이션을 통하여 평가하였다.

#### 모델 시뮬레이션(Simulation)

**시뮬레이션 구동방법:** Simulation 구동은 @RISK를 이용하였으며, sampling type은 Median Latin Hypercube sampling을, generator seed는 random방법을 선택하여 이용했고, iterations(반복시행 횟수) 10,000 이상의 결과를 최종적인 시뮬레이션 결과로 이용하였다. Simulation 결과가 도출된 후 그 결과를 바탕으로 @RISK를 이용하여 아래와 같이 민감도 분석과 시나리오 분석을 실시하였다.

**민감도 분석(sensitivity analysis):** 민감도 분석은 개발된 QMRA 모델의 입력변수 중에서 최종결과에 가장 크게 영향을

Table 5. Filtered output results from 10,000 iterations of QMRA model for *S. aureus* in kimbab at retail

Statistic	Value	Percent	Value
Minimum	407	5%	407
Maximum	3,162	10%	409
Mean	1,595.75	15%	418
Std Dev	1,108.11	20%	436
Variance	1,227,887.19	25%	471
Skewness	0.29	30%	528
Kurtosis	1.38	35%	620
Median	1,277	40%	767
Mode	407	45%	984
Left X	407	50%	1,277
Left P	5%	55%	1,591
Right X	3161	60%	1,941
Right P	95%	65%	2,314
		70%	2,642
		75%	2,862
#Errors	0	80%	3,034
#Filtered	5500	85%	3,113
#Unfiltered	4500	90%	3,150
Incidence	45.0%	95%	3,161

Filtering, which removed the zero iterations, made it possible to calculate the incidence of initial contamination and the number of *S. aureus* at retail.

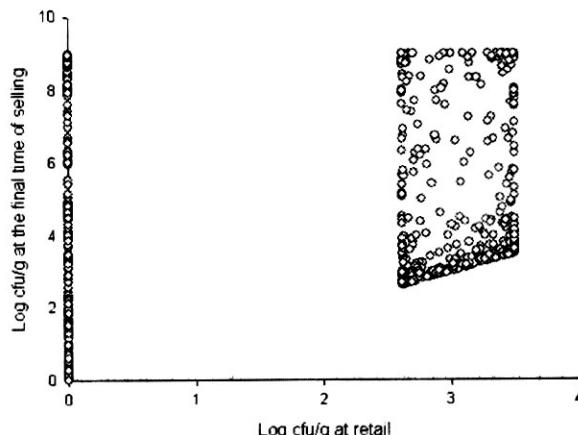
미치는 입력변수를 선정하는 과정으로 본 연구에서의 최종결과는 김밥섭취 시 김밥에서의 *S. aureus*의 오염수준으로 하였고, 입력변수는 QMRA 모델에 있는 바와 같이 매장에서의 초기오염수준, 매장에서의 보관온도/시간, 최종섭취 시의 온도와 시간으로 선정하였다. 통계적인 분석방법은 stepwise regression 을 이용하였다.

**시나리오 분석 (Scenario analysis):** 시나리오 분석은 민감도 분석에서 선정된 영향력 있는 입력변수의 변화에 따라 김밥섭취 시 김밥에서의 *S. aureus* 오염수준이 어느 정도로 변화하는지를 파악하여 입력변수의 한계치를 결정하고 이를 한계기준 설정에 이용하기 위하여 실시하였다. 시나리오의 구성은 우선적으로 민감도분석에서 크게 영향을 미치는 인자로 결정된 시간, 온도, 김밥의 초기 오염수준의 변화로 이루어졌으며, 각각 입력변수의 한계 값 내에서 변화를 유도, 이에 따른 최종 김밥섭취 시 김밥에서의 *S. aureus*의 오염수준의 변화를 관찰하였다.

#### 결과 및 고찰

##### Exposure assessment

**매장에서의 초기 오염수준:** Table 5는 김밥 일반매장 retail에 서의 초기 오염수준에 대한 발생 정도를 나타낸 것으로, 10,000 회 반복하여 *S. aureus*의 오염이 전혀 발생하지 않는 것으로 나타난 0(0 log cfu/g)을 제외한 filtering 결과이다. Filtering은 @RISK에서 수행된 시뮬레이션결과에 대하여 원하지 않는 값을 제거하는 @RISK의 고유기능으로 본 연구에서는 0을 원하지 않는 값으로 하여 filtering 하였으며, filtering된 수가 5,500이라는 의미는 10,000번의 시료 채취 시 5,500(55%)회에서는 *S. aureus*가 검출되지 않으며 나머지 4,500회(45%)에서는 *S. aureus* 가 검출되는 데 평균적으로 1,595 cfu/g, 최소 407 cfu/g, 최대



**Fig. 2. Scatter plot of *S. aureus* per contaminated kimbab after selling versus at retail.**

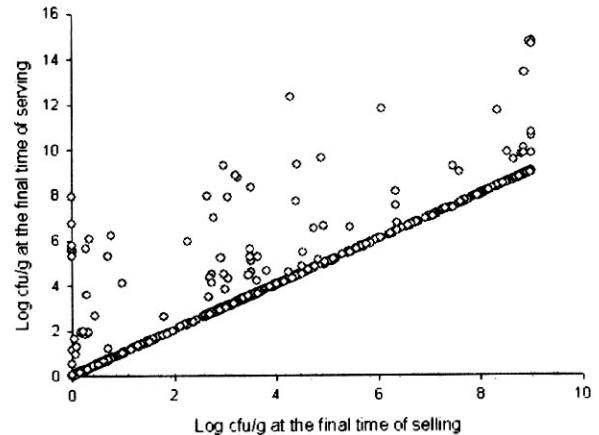
Points on the y-axis represent growth in non-contaminated kimbab. For the remaining contaminated kimbab, the results demonstrated that continuous growth of *S. aureus* during selling.

3,162 cfu/g로 오염되어 있음을 나타낸 것이다. 비록 많은 모니터링 자료가 포함되지는 않았으나 가장 최근의 모니터링 자료를 이용하였기 때문에 이 값을 현재 우리나라 일반매장에서 판매되는 김밥에서의 *S. aureus*의 오염수준으로 가정하였다. 이 값은 나중에 추가적인 모니터링의 결과에 따라 달라질 수 있으며, 또한 연차적이 모니터링 결과가 있을 시 매장에서 판매되는 김밥에서의 *S. aureus*의 오염정도 변화를 추정하는데 이용할 수 있을 것으로 보인다.

**매장에서의 보관 중 성장:** Fig. 2는 retail에서 초기에 오염된 *S. aureus*가 현재 매장에서의 보관온도 및 시간에 따라 어느 정도로 성장하는지를 나타낸 것이다. 이미 오염된 45%에서는 균의 성장이 어느 정도 이루어지고 있으나 초기에 전혀 오염되지 않은 것으로 나타난(0 log cfu/g) 나머지 55%에서도 균이 지속적으로 성장하는 것을 알 수 있다. 이는 초기에 오염되지 않았다 하더라도 이후 매장에서의 보관온도 및 시간에 따라 *S. aureus*가 충분히 성장이 가능하다는 것을 의미한다. 오염수준은 최소(5% percentile) 0.0002 log cfu/g, 평균(50% percentile) 3.40 log cfu/g, 최대(95% percentile) 8.99 log cfu/g으로 나타났다. Fig. 2에서 2.6 log cfu/g 이하에서 전혀 값이 나타나지 않은 것은 검출한계에 의한 것으로 보여진다.

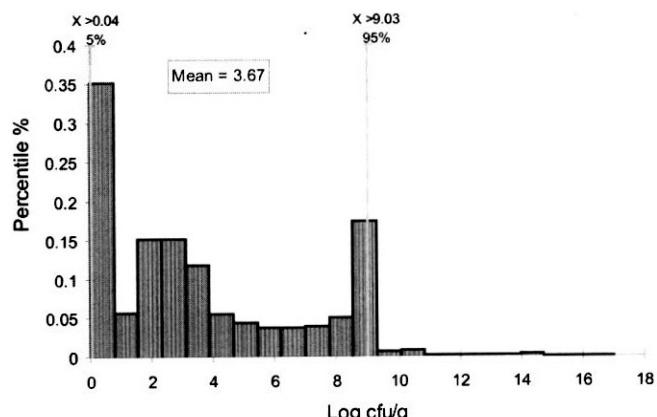
**구매 후 최종소비까지의 성장:** Fig. 3은 매장에서 오염된 *S. aureus*가 구매 후 최종 소비시점까지의 보관온도 및 시간의 경과에 따라 어느 정도로 성장하는지를 나타낸 것이다. 일부 분산된 분포를 나타내기도 하지만 대부분이 일직선상 있어, 이는 성장이 이루어지지 않음을 보여준다. 전체적으로 볼 때 구매 후 소비까지의 *S. aureus* 증가는 우려할 수준은 아니었다. 그러나 일부 오염된 *S. aureus* 경우 소비자가 구매 후 보관 중에도 어느 정도 성장이 가능한 것으로 나타나므로 구매 후 빠른 시간 이내에 소비하는 것이 바람직한 것을 확인할 수 있었다.

**김밥을 통한 *S. aureus*의 최종 섭취량:** 우리나라 일반매장에서 판매되는 김밥 섭취율을 통한 *S. aureus*의 섭취수준은 Fig. 4와 같이 최소(5% percentile) 0.04, 평균(50% percentile) 3.67, 최대(95% percentile)에서는 9.03 log cfu/g을 섭취하는 것으로



**Fig. 3. Scatter plot of *S. aureus* per contaminated kimbab after serving versus selling at retail.**

Results of this part of the QMRA model demonstrated a little growth of *S. aureus* on kimbab from selling to consumption.



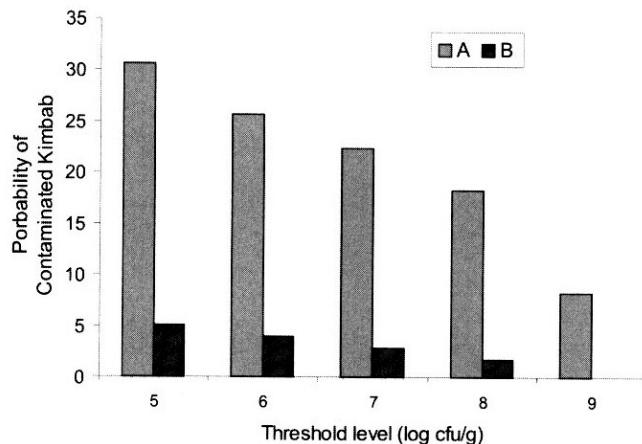
**Fig. 4. Probability distributions of contamination level for *S. aureus* at final consumption of kimbab.**

The estimated contamination level is minimum (5% percentile) 0.04 log cfu/g, mean (50% percentile) 3.67 log cfu/g, and maximum (95% percentile) 9.03 log cfu/g in kimbab.

나타났다. 이 정도의 오염발생 수준이 어느 정도로 높은 것인지 비교할 수 있는 국내외 김밥의 *S. aureus* 오염도 조사 자료가 없어 상대비교가 어려운 실정이다. 따라서 본 연구의 김밥을 통한 *S. aureus* 최종 섭취수준 추정은 오염수준에 대한 모니터링 결과, 보관시간 및 온도 등 주요 환경인자 자료를 바탕으로 국내에서는 최초로 수행된 결과로 그 의미가 있다고 하겠다.

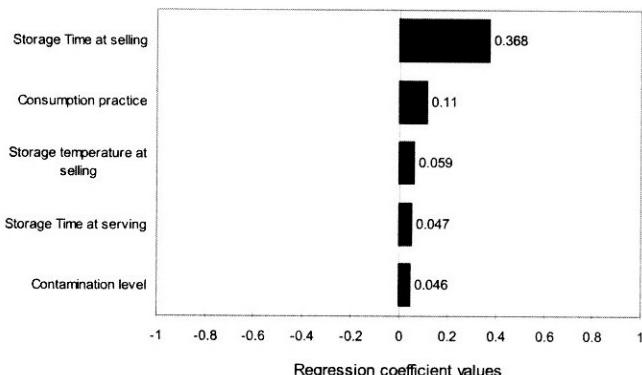
#### Risk characterization

**안전수준이상 오염 가능성에 대한 평가:** 앞서 언급한 바와 같이 *S. aureus*의 SET를 고려한 양-반응 모델은 아직까지 개발된 것이 없어 김밥 소비량에 근거한 *S. aureus*에 의한 식중독 발생수준을 평가하는 것은 어려운 것으로 나타났다. 따라서 시뮬레이션에서는 최종섭취 시  $10^5$  cfu/g 이하의 오염수준은 안전한 것으로 보고 시뮬레이션에서 제거하고  $10^5$  cfu/g 이상 오염될 가능성에 대한 결과만을 산출하였다. Fig. 5는 본 연구의 QMRA모델에서 이용한 환경조건에 따라 매장에서 즉석으로 제조된 김밥을 최종적으로 섭취할 때까지 5, 6, 7, 8,과 9 log cfu/g 이상 오염될 가능성을 나타낸 것이다. 최종적으로 섭취되는 전



**Fig. 5. Estimation of probabilities(%) for the contamination level of *S. aureus* in kimbab according to the threshold (contamination) level and the storage temperature.**

A: 22.5°C, B: 10°C.

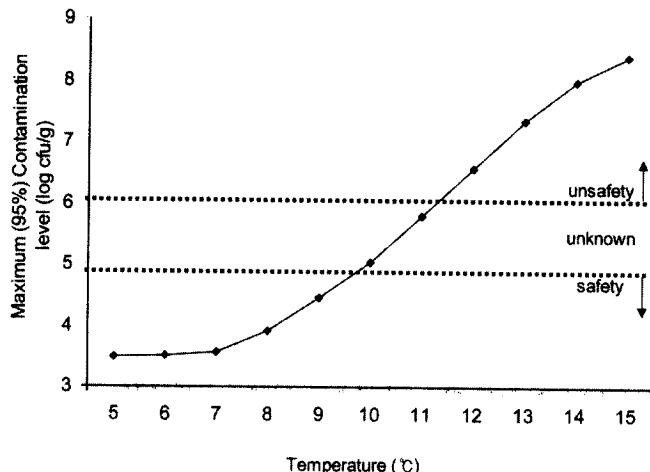


**Fig. 6. The regression sensitivities risk factors effecting for final contamination level of *S. aureus* in kimbab during retail-to-table pathway.**

The most significant risk factor appeared storage time at selling.

체 김밥 중 5 log cfu/g 이상 오염될 가능성은 30.7%, 6 log cfu/g 이상은 25.7%, 7 log cfu/g 이상은 22.4%, 8 log cfu/g 이상은 18.3%, 그리고 9 log cfu/g 이상 오염될 가능성은 8.3%로 나타났다. 이상의 오염수준은 여러 관련요인에 따른 오염발생 수준과 섭취 가능성의 관련성을 보여주는 자료이며, 김밥 섭취로 인한 *S. aureus* 식중독에 노출될 가능성이 잠재하는 것으로 추정할 수 있다. 따라서 매장에서 판매되는 김밥의 안전성을 높이기 위해서는 김밥의 품질에 영향을 주지 않는 범위 내의 온도-시간관리의 유효성 검증과 이에 따른 critical control point 설정 및 관리가 필요하며, 또한 최초 오염수준을 낮추기 위해서는 김밥 제조공정에 대한 위생관리 강화의 필요성이 인정되었다.

**민감도 분석(Sensitivity analysis):** 민감도 수준은 -1에서 1 사이의 값을 가지며, 1 또는 -1에 근접할수록 영향 정도가 크다고 볼 수 있다. @RISK를 이용한 김밥에서 *S. aureus*가 10<sup>5</sup> cfu/g 이상 발생 가능성 대비 민감도 분석결과는 Fig. 6과 같다. 김밥에 대한 retail to table 과정에서 판매매장에서의 보관시간 즉 제조 후 판매까지의 시간이 가장 높은 0.368로 나타났고, 다음이 소비자의 섭취습관으로 구매 후 바로 섭취를 하느냐 그렇지 않고 일정기간 경과 후 섭취하느냐의 섭취습관이 0.11, 다



**Fig. 7. The estimated results of maximum (95%) contamination level for *S. aureus* in kimbab at various storage temperatures.**

The most safety level was assumed as below 5 log cfu/g and the unsafe level was assumed as over 6 log cfu/g because the safety level was not precisely decided yet scientifically. The most safe storage temperature appeared under 10°C.

음으로는 매장에서의 보관온도가 0.059, 다음이 섭취하기까지의 보관시간이 0.047로, 마지막으로는 초기오염수준으로 0.046으로 각각 나타났다. 일반적인 생각과는 달리 김밥에서의 *S. aureus* 초기 오염수준에 대한 영향은 적은 반면 매장에서의 보관시간이 가장 중요한 영향요인으로 나타났다. 이는 김밥제조 단계 이후의 retail to table 과정만을 고려한 결과이기 때문에 초기오염의 비중이 상대적으로 낮게 나타난 것으로 판단되었다.

### 시나리오 분석(Scenario analysis)

민감도 분석의 결과 판매매장에서의 보관시간이 가장 중요한 영향요인으로 나타났지만 위생관리 측면에서 볼 때 매장에서의 보관 즉, 판매시간에 대한 관리는 어려운 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 김밥과 같은 즉석식품에 대한 우리나라 시장의 현실성을 고려할 시 매장에서의 보관온도가 판매시간 보다 훨씬 더 수월하게 관리할 수 있다는 점을 반영하여 시나리오 분석에서는 매장에서의 김밥 보관온도에 대한 분석을 실시하였으며, 나머지 영향요인의 경우도 위생관리 측면에서의 관리가 어려운 점을 감안하여 제외하였다. Fig 7은 김밥 제조 후 매장에서의 김밥 보관온도를 5-15°C의 범위에서 1°C 간격으로 가정하여 각각 보관온도에서의 *S. aureus*의 최대 오염수준(95% percentile)을 시나리오 분석을 통해 추정한 결과이다. 김밥의 보관온도를 5°C로 설정하였을 경우 *S. aureus*의 최대 오염수준은 3.49 log cfu/g으로 나타났으며, 10°C의 경우에는 안전기준인 5 log cfu/g를 약간 초과하였다. 김밥의 보관온도가 12°C 이상인 경우는 모두 6 log cfu/g를 초과하였다. 따라서 안전기준을 6 log cfu/g으로 설정할 경우 김밥의 보관온도는 11°C 이하가 안전한 것으로 보이며, 안전기준을 5 log cfu/g으로 설정할 경우 김밥의 보관온도는 10°C 이하가 안전한 것으로 나타났다. 따라서 현재의 매장에서의 김밥 보관온도인 평균 22.5°C(Table 3)를 10°C 이하로 낮추어 관리한다면 *S. aureus* 오염수준이 상당히 감소하여 *S. aureus*에 의한 식중독 발생 가능성도 낮아질 수 있다. 한편 Fig. 6은 매장에서의 김밥 보관온도를 10°C로 하였을 경우 김밥에서의 *S. aureus* 오염 감소정도를 나타낸 것으로 *S. aureus*의 5 log cfu/g 이상 오염될 가능성

이 5% 정도로 가장 낮아졌으며 9 log cfu/g 이상의 가능성은 거의 없는 것으로 나타났다.

QMRA 방법은 식품안전 분야에서 가장 중요하고, 가장 과학적인 방법으로 국제기구를 중심으로 적극 장려되고 있는 차세대 기술이다(4,5). 하지만 QMRA 이론에 일치하는 평가를 실시하는 것은 아직까지 어려운 것으로 평가되고 있다(24). 이는 현재 국내뿐만 아니라 국제적으로도 이용 가능한 자료의 한계와 양·반응 평가모델의 부족 등이 가장 큰 난점으로 지적되기 때문이다.

김밥제조과정은 다양한 원료를 직접 손을 사용하며 제조하는 조리상의 특징 때문에 교차오염 발생과 이로 인한 병원성 미생물 오염 가능성이 있는데(25), 이 부분의 좀 더 정확한 자료 산출을 위해서는 김밥에서의 *S. aureus*의 오염과 관련한 전이율 분석 등 교차오염과 관련된 분석 및 모델 개발이 우선 요구된다. 치즈에서의 *S. aureus*에 대한 QMRA를 실시했던 Lindqvist 등(18)의 연구에서도 지적되었지만 *S. aureus*와 SET 와 관련된 양·반응 모델 개발이 시급한 것으로 보인다. 정확한 QMRA의 결과를 산출하기 위해서는 양·반응평가 모델에 대한 실험 결과가 우선적으로 요구되는데, 감염형과 달리 *S. aureus* 과 같은 독소형 식중독균에 대한 양·반응평가 모델 개발은 전 세계적으로 그 개발의 어려움이 지적되고 있다. 현재 QMRA 분야는 이와 같은 문제점 등으로 인하여 전체적인 risk를 추정하기 보다는 추후에 더욱 정확한 risk를 추정할 수 있도록 하기 위한 방법론적 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 연구는 exposure assessment 에 비중을 두어 진행하였으며, 추후 양·반응 평가 모델이 개발된다면 좀 더 활용성 있는 QMRA 모델로 개선이 가능할 것으로 사료된다.

또한 본 연구에서 이용한 Jin 등(14)의 김밥에서의 *S. aureus*에 대한 성장모델이 Buchanan 등(26)에 의해 broth culture에서 *S. aureus* 196E에 대한 성장모델 결과보다 성장 정도가 약간 높았는데 이러한 차이가 김밥과 broth culture의 차이 때문인지 아니면 이용 균주에 의한 차이인지 등에 대한 검증이 필요한 것으로 보인다. 마지막으로 본 연구에서는 오직 한 개의 모니터링 결과만을 이용하였는데 추후 더 많은 모니터링 결과가 사용된다면 현장에 활용 가능한 실용적인 결과를 얻을 수 있을 것으로 보인다. 그러나 이러한 자료의 제한성에도 불구하고 QMRA와 같은 정량적인 평가는 위해관리 측면에서 잠재적 위해에 대한 영향인자를 평가하고 찾아내 활용하게 하는 과학적인 근거를 제시하고 있다. 본 연구의 QMRA 모델에 대한 결과와 같이 *S. aureus*로부터 김밥에 대한 안전성을 확보하기 위해서는 현재 매장에서의 김밥 보관온도인 평균 22.5°C를 10°C 이하로 설정하여 관리하는 것이 가장 안전한 것으로 나타났으며, 김밥을 직접 제조하고 판매하는 매장뿐만 아니라 최종소비에서도 온도·시간 관리가 critical control point로 제안될 수 있다는 것이다.

## 요 약

정량적 미생물 위해평가(Quantitative microbial risk assessment: QMRA)는 국민건강에 영향을 주는 잠재된 위해를 연구하고 식품내 존재하는 병원성미생물과 관련한 위해를 체계적으로 평가하는 것이다. 본 연구는 김밥에서의 *Staphylococcus aureus*에 대한 QMRA 모델을 개발하고 이를 식품위생관리에서 이용할 수 있는 기준을 제시하여, 식품안전 분야에서의 QMRA의 필요성과 활용성을 알리기 위해서 실시하였다. QMRA 모

델은 매장에서부터 최종소비에 이르기까지 4 단계로 구성되었으며, 미생물 성장모델과 조사자료 그리고 확률분포가 김밥의 최종소비에서의 *S. aureus* 수준을 평가하기 위하여 이용되었다. *S. aureus*에 대한 양·반응모델이 없는 관계로 최종 소비단계에서의 *S. aureus*의 오염수준을 잠재적인 위해를 결정하는데 이용하였다. 이를 위하여 5 log CFU/g 이상을 잠재적 유해수준으로 가정하였으며, 시뮬레이션 결과 최종 소비되는 김밥에서의 유해수준을 초과할 가능성은 30.7%로 나타났다. 김밥에서의 *S. aureus*의 오염수준은 평균 2.67 log CFU/g으로 나타났으며, 민감도 분석에서는 매장에서의 김밥 보관온도 및 시간이 가장 중요한 요인으로 결정되었다. 이러한 결과를 종합하여 볼 때 김밥 매장에서는 현실적으로 보존시간 관리가 어렵다고 한다면 보관온도를 10°C 이하로 유지하는 것이 가장 중요한 것으로 나타났다. 본 연구에서와 같이 QMRA는 식품 내 존재할 수 있는 잠재적인 위해에 영향을 미치는 인자들에 대한 평가에 이용될 수 있으며 이를 식품위생관리에 직접적으로 활용 가능한 것으로 나타났다.

## 감사의 글

이 논문은 한국과학재단 2004년 전반기 해외 Post-doc. 연수 지원과 2003년 농림기술개발연구사업(202138-03-2-SB010)에 의하여 QMRA 기본 모델이 연구되었으며, 2004년 식품의약품안전청 용역연구사업으로 얻어진 연구결과로 이에 감사드립니다.

## 문 헌

- Notermans S, Teunis P. Quantitative risk analysis and the production of microbiologically safe food: an introduction. Int. J. Food Microbiol. 30: 3-7 (1996)
- CAC (Codex Alimentarius Commission). 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)
- FAO/WHO. Risk assessment of microbiological risk assessment. Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation, March 15-19, Geneva, Switzerland (1999)
- CAC (Codex Alimentarius Commission). Principles and guidelines for the conduct of microbiological risk assessment. CAC/GL-30. FAO Rome, Italy (1999)
- FAO/WHO. Joint FAO/WHO expert consultation on risk assessment of microbiological hazards in foods. FAO Food and Nutrition Paper No. 71. FAO Rome, Italy (2000)
- Vose DJ. The application of quantitative risk assessment to microbial food safety. J. Food Prot. 61: 640-648 (1998)
- Bahk GJ. Trends of Microbial Risk Assessment. pp. 46-69. In: 2001 Symposium of Korean Society for HACCP Research. The Korean Society for HACCP Research, Seoul, Korea (2001)
- Buchanan RL, Demis S, Miliotis M. Initiating managing risk assessments within risk analysis framework: FDA/CFSAN's practical approach. J. Food Prot. 67: 2058-2062 (2004)
- Korea Food and Drug Administration. Annual report of foodborne disease in Korea. Available from: <http://www.kfda.co.kr>. Accessed Dec. 3, 2004
- Bahk GJ, Chun SJ, Park KH, Hong CH, and Kim JW. Survey on the foodborne illness experience and awareness of food safety practice among korean consumers. J. Fd. Hyg. Safety 18: 139-145 (2003)
- Palisade Inc. Guide to using @RISK: risk analysis and simulation add-in for microsoft excel. ver 4.5, Newfield, NY, USA (2002)
- Park SY, Choi JW, Yeon JH, Lee MJ, Oh DH, Hong CH, Bahk GJ, Woo GJ, Park JS, Ha SD. Assessment of contamination level of foodborne pathogens isolated in *kimbab* and its main ingredients in the process of preparation. Korean J. Food Sci. Tech. 37:

- 122-128(2005)
13. Oh DH, Ha SD, Hong CH. Study on the reduction of foodborne pathogenic bacteria in ready-to-eat (RTE) foods. 2004 KFDA research project report (project No. FBD-563). KFDA, Seoul, Korea (2004)
  14. Jin SS, Bimal KK, Choi JH, Ha SD, Hong CH, Woo GJ, Oh DH. The growth of *Staphylococcus aureus* on *kimbab* at different temperature. p. 380. In: The current prospects of functional and medicinal food. Korean Society of Food Science and Nutrition, Jeju, Korea (2004)
  15. SAS Institute Inc. SAS User's Guide. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC, USA (2002)
  16. Hass NC, Rose JB, Gerba, CP. Quantitative microbial risk assessment. John Wiley & Sons, Inc. NY, USA. pp. 324-327 (1999)
  17. Buchanan RL, James L, Smith WL. Microbial risk assessment: dose-response relations and risk characterization. Int. J. Food Microbiol. 58: 159-172 (2000)
  18. Lindqvist R, Sylven S, Vagasmol I. Quantitative microbial risk assessment exemplified by *Staphylococcus aureus* in unripened cheese made from raw milk. Int. J. Food Microbiol. 78: 155-170 (2002)
  19. Walls I, Scott VN. Use of predictive microbiology in microbial food safety risk assessment. Int. J. Food Microbiol. 36: 97-102 (1997)
  20. Dana MM, Lee J, Peggy MF. A quantitative risk assessment for *Bacillus cereus* emetic disease associated with the consumption of Chinese-style rice. J. Food Safty 19: 209-229 (1999)
  21. Anunciacao LL, Linardi WR, do Camo LS, Bergdoll MS. Production of Staphylococcal enterotoxin A in cream-filled cake. Int. J. Food Microbiol. 26: 259-363 (1995)
  22. Grockler L, Notermans S, Kramer J. Production of enterotoxins and thermonuclease by *Staphylococcus aureus* in cooked egg-noodles. Int. J. Food Microbiol. 6: 127-139 (1988)
  23. Otero A, Garcia MC, Garcia ML, Prieto M, Moreno B. Behaviour of *Staphylococcus aureus* strains, products of enterotoxin C<sub>1</sub> and C<sub>2</sub> during manufacture and storage of Burgos cheese. J. Appl. Bacteriol. 64: 117-112 (1988)
  24. FAO/WHO. Joint FAO/WHO Initiative on Microbial Risk Assessment. IAFP 88th Annual meeting, IAFP, Minneapolis, Minnesota, USA (2001)
  25. Kim DH, Song HP, Kim JK, Kim JO, Lee HJ, Byun MW. Determination of microbial contamination in the process of rice rolled in dried laver and improvement of shelf-life by gamma irradiation. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 32: 991-996 (2003)
  26. Buchanan RL, Smith JL, McColgan C, Marmer BS, Golden MH, Dell BJ. Response surface models for the effects of temperature, pH, sodium chloride, and sodium nitrite on the aerobic and anaerobic growth of *Staphylococcus aureus*. J. Food Safty 13: 159-175 (1993)

---

(2004년 12월 21일 접수; 2005년 5월 4일 채택)