

몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 일식메뉴 중 비가열 처리 식품의 정량적 위해평가

송주현 · 최유진 · 량효민 · 이광근*
동국대학교 식품공학과

Quantitative Microbial Risk Assessment of Non-thermal Processed Japanese Foods Using Monte Carlo Simulation

Ju-Hyun Song, Yu-Jin Choi, Hyo-Min Nang, and Kwang-Geun Lee*

Department of Food Science and Technology, Dongguk University

Abstract

The aim of this study was to control the outbreak of food pathogen through quantitative microbial risk assessment (QMRA). We used Monte Carlo Simulation (MCS) to predict contamination levels of *Staphylococcus aureus* on the raw materials, equipments and cook in Japanese restaurant located in Seoul. The result of sensitivity analysis showed that the most significant factor for the outbreak of food pathogen was consumption temperature and storage time. In shrimp and octopus sushi, 'consumption temperature' was the highest sensitivity value of 0.419 followed by 'storage time' of 0.374. To increase safety of sushi, consumers should have sushi as soon as possible after cooking. In sushi 'storage time after cooking' was determined as Critical Control Point (CCP). To determine Control Limit (CL), Scenario Analysis (SA) was carried out. In sushi, SA was carried out using storage time as a unit condition. Safety level of *S. aureus* was set lower than 5 log CFU/g. After 2 hr 'storage time' the number of *S. aureus* increased to 3.908 log CFU/g. Therefore, 'storage time' of sushi was set as CL in case of room temperature storage.

Key words: quantitative microbial risk assessment, non-thermal processed foods, monte carlo simulation, *Staphylococcus aureus*

서 론

비가열 조리 일식 메뉴는 세균이 증식하기 쉬운 고 위험 식품(potentially hazardous food: PHF)으로 비위생적으로 가공 처리하여 제공되면 중대한 생물학적 위해를 일으킬 수 있다(Park et al, 2004). 또한 비가열 조리 공정의 음식은 가열단계가 없기 때문에 원재료 자체의 초기 오염 수준이나 오염된 조리 기구, 종사자에 의한 교차오염이 발생하기 쉽기 때문에 생선회와 초밥 등 비가열 조리 음식을 전문적으로 판매하고 있는 일식업체의 경우 다른 어떤 업체보다 위생에 주의를 기울이고 있다. 최근 특정 환경조건하에서, 식품 중 병원성 미생물의 성장과 사멸을 통계적으로 기술하고 예측하려는 연구가 매우 활발히 이루어지고 있는

데, 이러한 연구 분야를 예측식품미생물학(predictive food microbiology: PFM)이라고 한다(Whiting & Buchanan, 1994; FAO, 2008; Bahk et al., 2001).

PFM은 식품 중 병원성 미생물의 성장 및 사멸에 영향을 미치는 요인이 실질적으로 소수의 요인에 한정하고 있다는 사실을 바탕으로 이들 요인 간의 조합에 수학적 모델을 이용한 것이다(Whiting & Buchanan, 1994; FAO, 2008). PFM의 목적은 식품의 원재료에서 제조, 유통, 보관, 판매, 소비까지의 전 과정에서 병원성 및 부패미생물의 변화를 예측함으로써 이들 미생물을 효과적으로 제어하고자 하는데 있다(You et al., 2000; Karl & Da-Wen, 1999). PFM은 또한 병원성미생물의 위해성 평가(risk assessment) 수단으로서 그 중요성을 주목 받고 있으며(Whiting, 1995; Walls & Scott, 1997), 특히 위해성 평가과정 중 노출평가(exposure assessment)에서의 이용 가능성이 크게 제기되고 있다. 위해 평가란 위험한 물질이나 상황에 노출되어 받는 위험이나 손상의 정도 또는 가능성을 평가하는 것으로, 특히 양적인 면에서의 평가를 수행하는 것을 정량적 위해 평가라고 한다. 최근에는 이러한 위해 평가를 통하여 식품의

Corresponding author: Kwang-Geun Lee, Department of Food Science and Technology, Dongguk University, Pil-dong, Chung-gu, Seoul, 100-715, Korea
Tel: +82-2-2260-3370 ; Fax: +82-2-2277-1274
E-mail: kwglee@dongguk.edu
Received January 6, 2009; revised February 5, 2009; accepted February 13, 2009

안전성을 확보하고자 하는 노력이 증가하고 있는 추세이다 (Whiting & Buchnan, 1994; FAO, 2008; Bahk et al., 2001).

식품안전성을 확보하기 위한 조직적인 위생관리 체계인 HACCP 시스템은 원료생산, 수확, 운반, 제조, 가공, 보관, 유통, 판매 및 최종 소비에 이르기까지 발생할 수 있는 생물학적, 화학적, 물리적 위해 요인을 각 단계에서 과학적으로 분석하고, 이들을 효과적이고 효율적이며 과학적으로 사전관리 하는 수단이다(You et al., 2000). 그러나 현행 HACCP 시스템으로는 미생물학적 위해를 정량화시키기 어렵기 때문에 정량적 미생물 위해 평가(quantitative microbial risk assessment: QMRA)를 접목한 QMRA-HACCP 시스템의 도입이 시도되고 있다(FAO, 2008).

정량적 미생물 위해 평가는 특정식품에서 어떤 병원균이 문제가 될 수 있는지를 결정하는 유해성확인(hazard identification), 개인이나 집단이 미생물학적 위해 요소에 얼마나 노출되며 얼마만큼의 미생물을 섭취하는지 예측하는 노출평가(expose assessment), 섭취량과 건강상의 부작용 발생사이의 관계를 기술하는 유해요소특성화(hazard characterization), 위해로 인해 나쁜 영향을 받을 가능성에 대한 위해 특성평가(risk characterization)의 네 단계로 구성된다(Bahk et al., 2001). 이 중 노출평가를 수행하기 위하여 해당 식품에서 위해의 우려가 있는 병원성 미생물의 오염수준을 예측하는 것이 필수적이나, 미생물적 위해의 경우, 증식과 사멸의 가능성으로 인해 화학적 위해보다 훨씬 더 동적인 특성을 갖는다(Bahk et al., 2005). 또한 미생물의 정량적 위해 평가의 정확성을 향상시키기 위해, 미생물 오염수준의 측정에는 평균값 보다는 확률적 접근방법을 이용하는 것이 요구되며, 몬테카를로(Monte Carlo) 분석과 같은 시뮬레이션 모델링 방법의 사용이 증가되고 있다(FAO, 2008; Bahk et al., 2001; You et al., 1999).

본 연구에서는 일식당에서 비가열처리로 제공되는 메뉴 중 생선회, 초밥에 대해 식품 유해 독소형 식중독균인 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*)의 오염수준을 확인하고 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 식자재, 조리과정, 조리 기구, 조리 종사자에서의 오염수준을 예측하여 오염에 영향을 미치는 인자를 확인함으로써, 최종적으로 비가열처리 공정인 일식메뉴의 QMRA-HACCP 모델을 개발하고자 수행되었다.

재료 및 방법

시료의 채취

실험에 필요한 시료(n=3)는 생선회, 초밥으로, 두 그룹으로 나누어 서울시에 위치한 일식당에서 멸균팩을 이용하여 직접 채취하였다. 일식당에서 생선회는 연어, 도미, 방어를 선택하였다. 초밥은 새우초밥과 문어초밥을 선택하였으며,

초밥에 사용되는 재료인 새우, 문어회, 밥과 고추냉이를 각각 따로 채취하였다. 또한 교차오염을 일으킬 수 있는 조리자의 손 및 칼, 도마, 행주, 혼합통, 접시 등 주방조리기구에 대해 멸균 펩톤수 10 mL를 미리 채운 멸균면봉(3M, Shanghai, China)으로 시료 중 10 cm×10 cm의 면적을 취하였다. 각 멸균팩에 채취된 모든 시료는 아이스박스를 사용하여 4°C 이하를 유지한 상태로 실험실로 운반하였으며, 시료채취 4시간 이내에 미생물 검사를 완료하였다.

미생물 분석

각 검체 10-25 g를 9배에 해당하는 0.1% 멸균 펩톤수(Difco, Spark, MD, USA)에 넣어 균질기(Interscience 78860, St Nom, France)로 1분간 균질화시킨다. 균질화된 샘플은 0.1% 멸균 펩톤수로 10배씩 연속희석 하였다. *Staphylococcus aureus*의 오염수준은 Baird-Parker RPF Agar medium(bioMerieux, France)을 사용하여 표준 평판법으로 도말하여 확인하였다. 도말된 배지는 37°C 에서 24-48시간 동안 배양하였으며, 생성된 균 중 혼탁한 환이 있는 암회색 집락을 API Staph kit(bioMerieux, France)으로 확인하여 *S. aureus*로 판정하였다.

조리공정도 작성 및 정량적 위해 평가 시뮬레이션 모델 개발

일식 메뉴에서의 *S. aureus*의 오염수준을 확인하기 위해 FDA에서 제시한 공정접근법(process approach)에 기초하여 조리 공정도를 작성하였다(CFSAN, 1998). 각 작업공정단계별 위해 요소에 대한 중요관리점을 설정하기 위하여 '위해 분석 평가시스템'을 이용하였으며, 확인된 위해가 동시에 다른 위해와 함께 혼재해 있는 점과, 해당 작업공정에서의 현실성을 최대한 고려하여 중요관리점을 결정하였다.

조리공정에서 *S. aureus*의 오염수준 변화와 증식사멸 등의 중요한 영향인자를 파악하기 위하여 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 시뮬레이션 모델에서 선정된 메뉴 및 조리 공정별 입력변수, 확률분포모델은 실험 결과 또는 문헌 고찰 등에 의해 선정하여 작성하였다(Whiting & Buchnan, 1994; Karl & Da-Wen, 1999; Walls & Scott, 1997; Ministry of Agriculture and Forestry & Republic of Korea, 2000; Roh et al., 2001; Roh et al., 2003). 균의 발현 빈도는 어떠한 사건이 일어날 확률을 결정하는데 사용되는 Beta 분포를 사용하였고, 이용 가능한 자료가 아주 적거나 없는 경우 대략적인 모델로 사용 가능한 Uniform 분포를 사용하였다. 또한 분포 범위와 범위 내의 최빈도 값을 추정할 수 있는 경우에 대략적인 모델로 사용할 수 있는 확률분포로써 Triang 분포를 사용하였다(Roh et al., 2001; Mackintosh & Hoffman, 1984; Roh et al., 2003). 마지막으로 소비시점에 따른 본 시뮬레이션 모델은 원부재료에서부터 최종섭취까지의 연속된 경로로 구성되어 있으며, 각 단계에서 이용된 수식과 입력변수는 엑셀의 스프레

드시트에서 작성하였다.

시뮬레이션 분석

몬테카를로 시뮬레이션은 조사자료 및 본 연구의 실험 결과치를 바탕으로 이용 가능한 확률분포모델을 선정하여 시뮬레이션 모델을 작성하였다(Vose, 1996; Palisade Inc, 2000; Im et al., 2007). 시뮬레이션 구동은 @RISK 4.0(Palisade Corp., Newfield, NY, USA)를 사용하였으며 sampling type은 median latin hyper cube sampling을, generator seed는 random방법을 선택하였고, 반복실행횟수는 10,000으로 설정하였다(Im et al., 2007).

민감도 분석(sensitivity analysis)

일식메뉴의 조리공정의 중요관리점(critical control point: CCP)을 결정하기 위해 민감도 분석을 실시하였다. 민감도 분석은 입력변수 중에서 최종오염수준에 가장 크게 영향을 미치는 입력변수를 선정하는 것으로 본 연구에서는 최종결과를 섭취 시 *S. aureus*의 오염수준으로 설정하였다. 민감도 수준은 -1~1사이의 값을 가지며, 0을 기점으로 1이나 -1에 가까울수록 영향력이 크다. 입력변수는 원부재료의 초기 오염수준, 균의 발현빈도, 전처리 공정, 교차오염원, 전이율, 음식점에서의 보관온도/시간, 최종 섭취 시의 온도와 시간 등으로 설정하였다. Stepwise regression을 이용하여 통계적인 분석을 실시하였다(Bahk et al., 2005).

시나리오 분석 (scenario analysis)

시나리오 분석은 민감도 분석에서 선정된 최종오염수준에 가장 큰 영향을 주는 입력변수의 변화에 따라 섭취 시의 *S. aureus* 오염수준이 어느 정도로 변화하는지를 파악

Table 1. The contamination level of *S. aureus* in raw materials and cook's hand and kitchenwares

	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>	Coliform
Raw material	2.70±0.20	0.92±0.18	2.82±0.04
Cook's hand and kitchenwares	1.90±0.28	2.10±0.54	2.90±0.38

(Unit : log CFU/g)

하여 입력변수의 한계치를 결정하고 이를 한계기준(control Limit: CL) 설정에 이용하기 위하여 실시하였다(Bahk et al., 2005).

시나리오의 구성은 민감도분석에서 영향을 미치는 인자들 중 가장 큰 영향을 미치는 변수로 설정하였으며, 조절이 불가능한 인자일 경우에는 차 순의 변수를 선택하였다. 선택된 입력변수의 한계값 내에서 변화를 유도하여 이에 따른 섭취 시 *S. aureus*의 오염수준 변화를 예측하였다.

결과 및 고찰

지표 세균의 검출

원부재료와 공정과정 중 거치게 되는 교차오염원의 *S. aureus*의 오염수준과 비교 지표세균인 *Escherichia coli*, Coliform의 오염수준은 Table 1과 같다. 원부재료의 오염수준은 평균 2.70±0.20 log CFU/g 수준으로 검출되었으며, 교차오염원의 경우 평균 1.90±0.28 log CFU/g 수준이었다. 이러한 검출수준은 선행연구결과와 비슷한 수준이었다(Im et al., 2007).

*S. aureus*의 오염수준을 평가하기 위한 시뮬레이션 모델 시뮬레이션의 각 변수에 대한 입력 함수는 원부재료와

Table 2. Simulation model for raw materials, cook's hand and kitchenwares of sushi

Step	Distribution	Unit	
Raw material			
Raw shrimp	Concentration of raw shrimp (SC)	RiskTriang (0,0,48)	%
	Prevalence of <i>S. aureus</i> on shrimp (SP)	RiskBeta (16,11)	%
	Mixture ratio (MR)	1/2	
	Level of <i>S. aureus</i> on shrimp (STot)	SC * SP * MR	CFU/g
Octopus sushi	Concentration of raw octopus (OC)	RiskTriang (0,0,48)	%
	Prevalence of <i>S. aureus</i> on octopus (OP)	RiskBeta (14,13)	%
	Mixture ratio (MR)	1/2	
	Level of <i>S. aureus</i> on octopus (OTot)	OC * OP * MR	CFU/g
Rice	Concentration of rice (RC)	RiskTriang (0,0,48)	%
	Prevalence of <i>S. aureus</i> on rice (RP)	RiskBeta (11,16)	%
	Mixture ratio (MR)	1/2	
	Level of <i>S. aureus</i> on rice (RTot)	RC * RP * MR	CFU/g
Wasabi	Concentration of wasabi (WC)	RiskTriang (0,0,48)	%
	Prevalence of <i>S. aureus</i> on wasabi (WP)	RiskBeta (11,16)	%
	Mixture ratio (MR)	1/2	
	Level of <i>S. aureus</i> on wasabi (WTot)	WC * WP * MR	CFU/g
(CM) Contaminated level of <i>S. aureus</i> in raw material	Shrimp sushi + Octopus sushi + Rice + wasabi	CFU/g	

Table 2. Simulation model for raw materials, cook's hand and kitchenwares of sushi (continued)

Step	Distribution	Unit
Equipments		
Knife	RiskBeta (0.17,2.37)	CFU/cm ²
Chopping board	RiskUniform (0.1,0.7)	CFU/cm ²
Dish	RiskUniform (0.05,2.3)	CFU/cm ²
Dish cloth	RiskUniform (0.06,2.21)	CFU/cm ²
Mixture case	RiskUniform (0.01,2.61)	CFU/cm ²
Contaminated level of <i>S. aureus</i> in equipments (CR)	Hand + Knife + Chopping board + Dish + Dish cloth + Mixture case	CFU/g
Contaminated level of <i>S. aureus</i> in Sushi (CS)	Log (CM+CR)	log CFU/g
Serving		
Storage time	RiskUniform (12,24)	hr
Storage temperature	RiskUniform (0,5)	°C
Consuming temperature	RiskTriang (16.39,20,31.89)	°C
MPD (maximum population density)	9.0	Fix 9
C	MPD-CS	log CFU/g
M	$21.47714-1.7447*T_m+0.0379*T_m^2$	log CFU/g
B	$0.40656-0.05026*T_m+0.00383*T_m^2$	log CFU/g
Contaminated level of <i>S.aureus</i> in serving	$CS+C*exp[-exp\{-B*(t-M)\}]$	log CFU/g
Step	Distribution	Unit
Equipments & employee		
Hand	Transfer ratio of <i>S. aureus</i> by equipments (ETR)	RiskUniform (0.17,0.88)
	Prevalence of <i>S. aureus</i> on hand (HP)	RiskBeta (0.13,0.14)
	Concentration of <i>S. aureus</i> on hand (HC)	RiskTriang (0,0,0.36)
	Level of <i>S. aureus</i> on hand (HTot)	ETR * HP * HC
Knife	Transfer ratio of <i>S. aureus</i> by equipments (ETR)	RiskUniform (0.17,0.88)
	Prevalence of <i>S. aureus</i> on knife (KP)	RiskBeta (0.1,2.6)
	Concentration of <i>S. aureus</i> on Knife (KC)	RiskTriang (0,0,0)
	Level of <i>S. aureus</i> on knife (KTot)	ETR * KP * KC
Chopping board	Transfer ratio of <i>S. aureus</i> by equipments (ETR)	RiskUniform (0.17,0.88)
	Prevalence of <i>S. aureus</i> on Chopping board (CBP)	RiskBeta (0.11,0.16)
	Concentration of <i>S. aureus</i> on Chopping board (CBC)	RiskTriang (0,0,0.21)
	Level of <i>S. aureus</i> on Chopping board (CBTot)	ETR * CBP * CBC
Dish cloth	Transfer ratio of <i>S. aureus</i> by equipments (ETR)	RiskUniform (0.17,0.88)
	Prevalence of <i>S. aureus</i> on DishCloth (DCBP)	RiskBeta (0.01,0.26)
	Concentration of <i>S. aureus</i> on Dish cloth (DCC)	RiskTriang (0,0,0)
	Level of <i>S. aureus</i> on Dish Cloth (DCBTot)	ETR * DCBP * DCC
Dish	Transfer ratio of <i>S. aureus</i> by equipments (ETR)	RiskUniform (0.17,0.88)
	Prevalence of <i>S. aureus</i> on Dish (DBP)	RiskBeta (0.01,0.26)
	Concentration of <i>S. aureus</i> on Dishcloth (DC)	RiskTriang (0,0,0)
	Level of <i>S. aureus</i> on Dish (DBTot)	ETR * DBP * DC
Mixture case	Transfer ratio of <i>S. aureus</i> by equipments (ETR)	RiskUniform (0.17,0.88)
	Prevalence of <i>S. aureus</i> on Mixture case (MBP)	RiskBeta (0.14,0.13)
	Concentration of <i>S. aureus</i> on Mixture case (MCC)	RiskTriang (0,0,0.47)
	Level of <i>S. aureus</i> on Mixture case (MBTot)	ETR * DBP
Contaminated level of <i>S. aureus</i> in on equipments (ECs)	HTot + KTot + CBTot + DCBTot + DBTot + MTot	CFU/g
Contaminated level of <i>S. aureus</i> in Vegetables (SuCs)	Log (RMCs+ ECs)	log CFU/g
Storage		
Storage temp. (Ts)	RiskUniform (0,5)	°C
Storage time (ts)	RiskUniform (12,48)	hr
Maximum population density (MPD)	Fixed 9.0	
Number of log cycles of growth (C)	MPD-SuCs	log CFU/g
Time at which the absolute growth rate is storage (M)	McCann et al. (2003) Estimated from Ts, pH and C _{NaCl}	hr
Relative growth rate at M (B)	McCann et al. (2003) Estimated from Ts, pH and C _{NaCl}	log CFU/g
Log contaminated level of <i>S.aureus</i> in Sushi after storage	$SuCs + C*exp[-exp\{-B*(ts-M)\}]$	log CFU/g

1)RiskUniform (min, max)
 2)RiskBeta (r+1, n-r+1): where n is the total number of samples and r is the number of positive samples
 3)RiskNormal (average, standard deviation)
 4) RiskTriang (min, most likely, max)
 5)RiskDiscrete ({x1,...xn}, {p1,...pn}): specifies a discrete distribution with a number of outcomes equaling n. Each outcomes has a value x and a weight p which specifies the outcome's probability of occurrence

조리자의 손 및 주방기구로 세분화하였다. 각 메뉴의 *S. aureus* 분포를 평가하기 위한 시뮬레이션 모델을 작성하였다. Table 2는 초밥의 시뮬레이션 모델로 생선회의 경우는 시뮬레이션 구동 시 초밥에 사용되는 밥과 고추냉이의 오염수준을 제외하고, 단지 어패류의 오염수준이 다른 점을 고려하여 둘 중 시뮬레이션 구동이 더 복잡하다고 판단되는 초밥을 대표적으로 작성하였다. 작성시 원부재료 자체의 오염수준과, 균이 검출될 발현비율, 그리고 각 재료들이 제공되는 메뉴에서 차지하는 배합비 등을 고려하였다. 여기에서 배합비는 최종제품의 무게에서 차지하는 각 원부재료의 무게를 말한다. 또한 전처리 및 조리과정에서 발생할 수 있는 조리자의 손, 칼, 도마, 행주, 혼합통 및 접시 등 교차오염원을 고려하여 모델을 작성하였다. 교차오염원의 경우, 균의 초기오염수준과 균이 발생할 발현비율, 마지막으로 교차오염원에서 식품으로 균이 전이되는 전이율을 고려하였는데, 본 연구에서는 전이율 분포로 장비로 인한 교차오염의 경우에 17-88%의 전이가 보고되어 있으므로 RiskUniform(0.17,0.88)을 사용하여 계산하였다(Rho, 2005). 마지막으로 각 재료들이 전처리 및 조리 후, 제공되기까지 저장시간에 따른 *S. aureus*의 증식속도를 예측하기 위해 Gompertz 식을 사용하였다(Im et al., 2007; Rho, 2005).

$$L(t) = A + C \exp\{-\exp[-B(t - M)]\}$$

$L(t)$ = Log count of bacteria at time t (logCFU/g)

A = Asymptotic log count of bacteria as time decrease indefinitely (i.e., initial level of bacteria) (logCFU/g)

C = Asymptotic amount of growth that occurs as t increases indefinitely (i.e., number of log cycles of growth) (logCFU/g)

M = Time at which the absolute growth rate is maximal (h): in this model defined as $21.47714 - 1.7447 * T_m + 0.0379 * T_m^2$

B = Relative growth rate at M ((logCFU/g/hr): in this model defined as $0.40656 - 0.05026 * T_m + 0.00383 * T_m^2$

Derived Growth Kinetics Equations:

Exponential growth rate (EGR) = BC/e (logCFU/g/hr)

Generation time (GT) = $(\log 2)e/BC$ (hr)

Lag phase duration (LPD) = $M - (1/B)$ (hr)

Maximum population density (MPD) = $A + C$ (logCFU/g): 9 Log CFU/g

일식 메뉴 중 비기열 처리 식품의 최종오염수준 예측

초밥의 원부재료 및 조리 기구에서의 *S. aureus*의 초기 오염 수준으로부터 예측한 최종 오염수준의 결과는 Fig. 1에 나타내었다. (A)는 완성 후 두 종류 초밥의 *S. aureus*

Table 3. Simulation model for raw materials, cook's hand and kitchenwares of sushi

Input : hr		Output: consumption				
Value	Mean	Min	Max	5%	95%	StdDev
1	1.915	-0.318	3.535	0.707	2.789	0.663
2	3.908	-0.318	6.549	0.870	6.176	1.767
3	5.918	-0.318	8.233	0.944	8.209	2.284
4	6.275	-0.318	8.917	0.949	8.829	2.449
5	7.794	-0.318	8.991	0.949	8.969	2.533
6	7.933	-0.318	9.108	0.949	8.995	2.570

(Unit : log CFU/g)

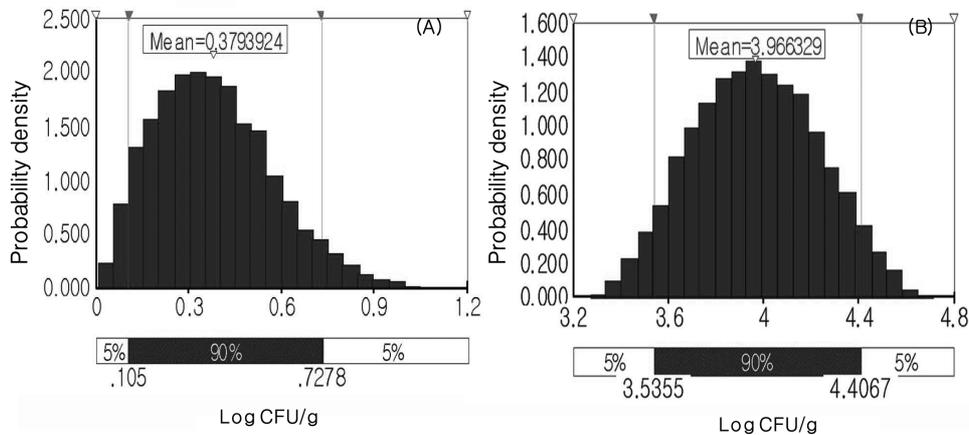


Fig. 1. Probability distribution of contamination level of *S. aureus* at final consumption of sushi (A: contamination level of *S. aureus* in prepared sushi, B: contamination level of *S. aureus* in prepared sushi after changing of temperature).

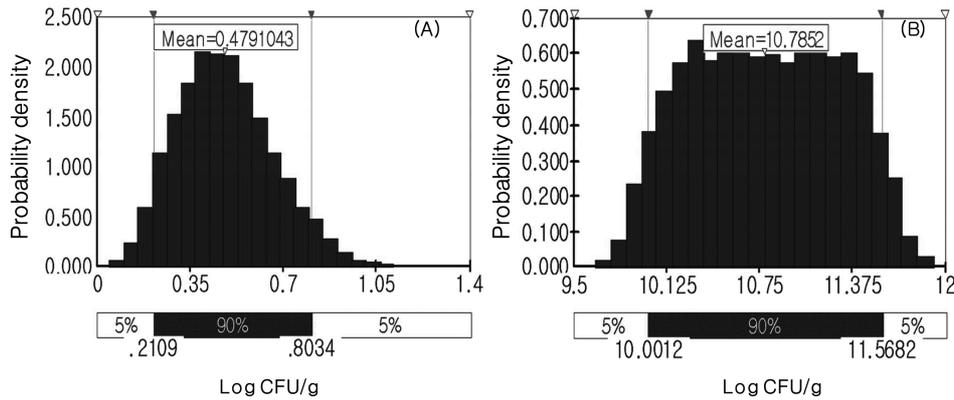


Fig. 2. Probability distribution of contamination level of *S. aureus* at final consumption of sliced raw fish (A: contamination level of *S. aureus* in prepared sliced raw fish, B: contamination level of *S. aureus* in sliced raw fish after changing of temperature).

오염 분포로 오염 평균값은 0.379 log CFU/g, 오염범위는 0.105-0.728 log CFU/g로 나타났다. 완성된 문어 초밥의 *S. aureus* 오염 평균값은 0.306 log CFU/g, 오염범위는 0.265-0.348 log CFU/g이었으며, 새우 초밥의 *S. aureus* 오염 평균값은 0.636 log CFU/g, 오염범위는 0.379-0.975 log CFU/g 수준이었다. (B)는 완성된 초밥의 섭취 시에 따른 온도의 변화에 따라 균의 증식을 나타낸 것이며, 완성 후 보관시간이 1시간으로 설정된, 두 종류 초밥의 *S. aureus* 오염 분포로써 오염 평균값은 3.966 log CFU/g 오염범위는 3.536-4.407 log CFU/g로 나타났다. 초밥의 경우 작업자의 손과 작업 기구에 따른 교차오염의 위험도가 높고, 생선회의 온도변화에 따른 균의 증식이 활발하게 발생할 수 있다.

생선회의 원부재료 및 조리 기구에서의 *S. aureus*의 초기오염 수준으로부터의 예측한 최종 오염수준의 결과는 Fig. 2에 나타내었다. (A)는 생선회의 *S. aureus* 오염 분포로써 오염 평균값은 0.479 log CFU/g, 오염범위는 0.211-0.803 log CFU/g로 나타났다. (B)는 완성된 생선회의 섭취 시에 따른 온도의 변화에 따라 균의 증식을 나타낸 것이며, 조리 후 보관시간이 1시간으로 설정된 *S. aureus* 오염 분포로써 오염 평균값은 10.785 log CFU/g, 오염범위는 10.001-11.568 log CFU/g로 나타났다. 생선회의 온도 변화에 따른 *S. aureus*의 증식에 최종 소비 시의 온도, 저장 시간과 저장온도 등이 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 이것은 온도변화에 따라 균의 증식이 활발해짐을 의미하며, 일식당에서는 조리 시작부터 최종소비자가 생선회를 섭취하기 직전까지의 온도관리가 매우 중요함을 알 수 있다.

일식 메뉴 중 비가열 처리 식품의 민감도 분석

초밥의 민감도 분석 결과, 완성된 초밥은 섭취 시 온도의 민감도 값이 0.419로 가장 큰 민감도를 나타냈고, 저장시간에서 민감도 값은 0.374로, 초밥의 완성 직후 바로 섭취할 경우의 입력변수가 두 번째로 높은 민감도값을 나타냈다

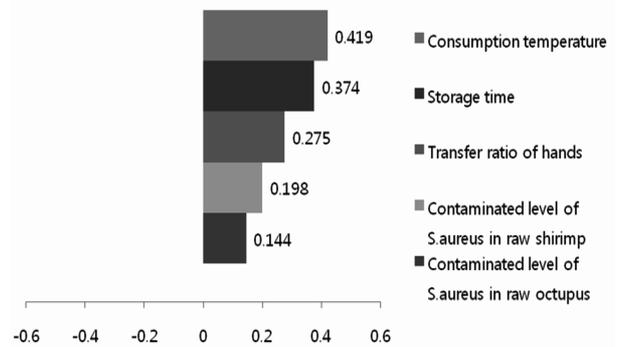


Fig. 3. Correlation between the sushi contamination with *S. aureus* and the factors of the simulation model.

(Fig. 3). 두 종류의 초밥의 결과도 모두 동일하게 보관 시간과 섭취 시의 온도가 가장 크게 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 일정 시간이 지난 후 초밥을 섭취하는 것이 균의 농도의 증가에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 초밥을 즉시 섭취하는 것이 균의 증식을 크게 예방할 수 있다. 즉, 초밥 완성 후 경과 시간과 섭취 시 온도는 초밥 제조관리에 있어 중요하게 관리되어야 하는 CCP로 결정되었다.

생선회의 경우, 식중독 감염의 위험이 매우 높기 때문에, 섭취 시간이 길지 않고, 섭취 온도도 다른 식품들에 비해 낮다는 점을 감안했을 때, 섭취 시간의 민감도 값이 0.71로 가장 큰 민감도를 나타냈고, 다음으로 섭취 시 온도는 민감도 값이 0.267로 높은 민감도를 나타냈다(Fig. 4). 이는 날 것으로 섭취하는 생선회의 경우 온도에 따라 균의 오염 증가에 크게 영향을 미친다는 것으로, 생선회를 즉시 섭취하는 것이 균의 증식을 크게 예방할 수 있음을 알 수 있다.

일식 메뉴 중 비가열 처리 식품의 시나리오 분석

초밥의 최종오염수준에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타난 초밥의 섭취 전 저장시간을 1시간 단위로 조건을 설정하여 시나리오 분석을 시행하였다. 본 연구에서는 *S.*

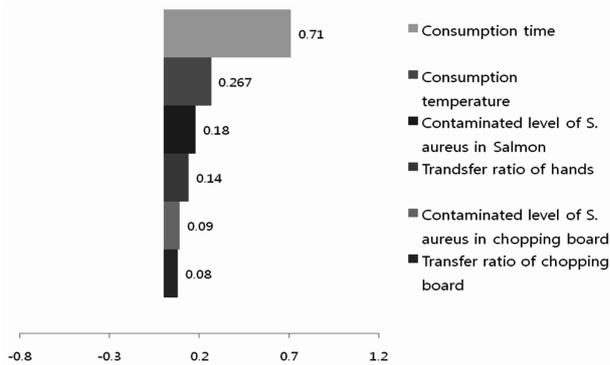


Fig. 4. Correlation between the raw fish contamination with *S. aureus* and the factors of the simulation model.

*aureus*는 김밥과 초밥과 같은 비가열 즉석섭취 식품에서 다수 검출되는 독소형 식중독 균으로 균이 존재하더라도 독소가 생성되지 않으면 식중독을 유발하지 않는다는 사실을 고려하여 enterotoxin이 발생하는 *S. aureus*의 수를 적용하였다(Rho, 2005). Anunciacao et al.(1995)과 Walls & Scott(1997)는 *S. aureus*가 6 log cfu/g 정도 오염된 식품에서 식중독을 일으키기에 충분한 set가 생성된다고 보고하였으나 본 연구에서는 보다 더 안전한 수준을 확보하기 위하여 *S. aureus*의 독소 생성이 불가능하다고 추정되는 한 단계 더 낮은 5 log CFU/g을 안전수준으로 설정하고 그 증식가능성을 기준으로 평가하였다. 시나리오 분석 결과 섭취시간이 2시간 이내일 때 3.908 log CFU/g으로 균이 증식하였으며, 3시간부터는 5.918 log CFU/g로 증가하다가 4시간 이후부터는 균 증가율이 급격히 감소하여 일정수준의 균 농도를 유지하는 것을 확인할 수 있다(Table 6). 그 결과 초밥을 실온에서 보관할 때 섭취시간은 2시간 이내로 설정하는 것이 바람직한 것으로 예측되며 이를 허용한계점으로 설정할 수 있다. 그러나, 문어초밥의 경우, 섭취시간이 1시간 이내일 때 4.158 log CFU/g, 2시간 이내일 때 6.618 log CFU/g, 3시간 이내일 때 7.788 log CFU/g으로 균이 증식하는 것으로 예측되어 완성된 문어초밥은 1시간 이내로 설정하는 것이 바람직하다.

일식메뉴 중 비가열 처리 식품의 경우, Kim et al.(2003)의 연구결과와 마찬가지로 식중독 발생에 가장 큰 영향을 주는 요인은 온도와 시간으로 분석되었다. 초기 오염 수준도 중요관리점이 되지만 부적절한 온도관리나 섭취 시간이 늦어질 경우, 비록 초기 오염 수준이 낮더라도 위험 수준까지 매우 빠른 속도로 증식하기 때문이다. 따라서 일식당에서는 입고 때부터 온도관리를 철저히 하고, 냉장고의 온도를 정기적으로 검사하는 등 미생물 증식 방지를 위한 노력이 필요하다. 또한 주방의 실내온도관리를 통해 식품에서의 세균 성장을 저지할 수 있도록 주방의 냉, 난방 시설 설비를 통한 주방의 온도관리가 필요하다고 사료된다.

요 약

본 연구는 식중독을 일으킬 수 있는 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*)의 검출을 이용하여 일식당의 식재료, 조리과정, 조리 기구, 조리 종사자의 오염수준을 예측하고 오염에 영향을 미치는 인자를 확인하고자 하였다. 시료는 서울시에 위치한 일식당에서 초밥과 생선회를 수거하였다. 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 초기 오염수준으로부터 각 공정별 위해 인자를 고려하여 최종오염수준을 예측한 결과, 새우 및 문어초밥의 경우, 모든 초밥이 저장기간 동안 *S. aureus*가 증식되는 것으로 나타났으며 특히, 문어초밥이 가장 높은 오염도를 보였다. 이는 생선회가 온도변화에 따른 균의 증식이 활발하고, 일식당에서 초밥을 섭취하기 직전에 초밥 중 생선회의 급속한 온도 변화가 나타나기 때문으로 판단된다. 초밥의 민감도 분석 결과, 완성된 초밥의 섭취 시 온도의 민감도 값이 0.419로 최종오염수준을 증가시키는 것으로 예측되었다. 두 종류의 초밥에서 동일하게 보관 시간과 섭취 시의 온도가 최종 오염수준에 가장 크게 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 일정 시간이 지난 후 초밥을 섭취하는 것이 균의 농도 증가에 가장 크게 영향을 미친다는 것으로 초밥을 조리 후 즉시 섭취하는 것이 균의 증식을 크게 예방할 수 있음을 알 수 있다. 연어, 도미, 방어회의 경우 섭취 시간에서 민감도 값이 0.71로 가장 큰 민감도를 나타내었고, 섭취 시 온도 또한 민감도가 크게 나타났다. 초밥의 시나리오 분석 결과, 실온 보관 시, 섭취시간이 2시간 이내일 때 식중독을 유발하지 않는 안전한 수준임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업의 연구비 지원(10536)에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- Anunciacao LL, Linardi WR, do Camo LS, Bergdoll MS. 1995. Production of staphylococcal enterotoxin A in cream-filled cake. *Int. J. Food Microbiol.* 26: 259-363.
- Bahk GJ, Kim CN, Roh WS, Hong CH, Chun SJ, Sim WC, O WT, Rho MJ. 2001. Application of predictive food microbiology model in HACCP system of milk. *J. Food Hyg. Safety* 16: 103-110.
- Bahk GJ, Oh DH, Ha SD, Park KH, Houg MS, Chun SJ, Park JS, Woo GJ, Hong CJ. 2005. Quantitative microbial risk assessment model for *Staphylococcus aureus* in Kimbab. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37:484-491.
- Center for Food Safety and Applied Nutrition (CFSAN). 1998. Managing food safety: a HACCP principles guide for operators of food establishments at the retail level - Chap.2. The process approach. Food and Drug Administration.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Hazard analysis and critical control point system and guidelines for its application. Available from: <http://www.fao.org/docrep/005/y1579e/y1579e03.htm>. Accessed Dec. 04, 2008.
- Im MN, Lee SJ, Lee KG. 2007. Quantitative risk assessment modeling for *Staphylococcus aureus* in sushi. *Food Eng. Progr.* 11: 77-83.
- Karl M, Da-Wen. 1999. Predictive food microbiology for the meat industry; a review. *Int. J. Food Microbiol.* 52: 1-27.
- Kim HK, Lee BH, Kim IH, Cho KD. 2003. Haccp model for quality control of sushi production in the fine japanese restaurants in korea. *J. East Asian Soc. Dietary Life* 13: 25-38.
- Lee HM, Lee GY, Yoon EK, Kim HJ, sKang YS. 2004. Computation of maximum edible time using monitoring data of *Staphylococcus aureus* in Kimbab and Food MicroModel. *J. Food Hyg. Safety* 19: 49-54.
- Mackintosh CA, Hoffman PN. 1984. An extended model for transfer of micro-organisms via the hands: differences between organisms and the effect of alcohol disinfection. *J. Hyg.* 92: 345-355.
- Ministry of Agriculture and Forestry of Republic Korea 2000. Manual for hazard analysis and critical control point system of livestock and livestock products. Official Notification 2000-15, Seoul, Korea.
- Park WH, Yi SH, Chung DH. 2004. Microbiological evaluation of chilled freshes raw-fish manufacturers before and after HACCP system establishment. *J. Food Hyg. Safety* 19: 74-83.
- Palisade. Guide to Using @RISK: Risk Analysis and Simulation Add-in for Microsoft Excel, ver. 4. Palisade Corp., Newfield, NY, USA. 2000.
- Roh MJ, Chung MS, Lee JH, Park JY. 2001. Monitoring of microbial hazards at farms, slaughterhouses, and processing lines of swine in Korea. *J. Food Prot.* 64: 1388-1391.
- Roh MJ, Chung MS and Park JY. 2003. Predicting the contamination of *Listeria Monocytogenes* and *Yersinia enterocolitica* in pork poduction using Monte Carlo simulation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 928-936.
- Roh MJ. 2005. Use of quantitative microbial risk assessment for food safety control. *Food & Machinery* 3: 3-11.
- Vose DJ. 1996. Quantitative risk analysis: A guide to Monte Carlo simulation modeling. Wiley, New York, USA, PP. 1900-1910.
- Walls I, Scott VN. 1997. Use of predictive microbiology in microbial food safety risk assessment. *Int. J. Food Microbiol.* 36: 97-102.
- Whiting RC, Buchanan RL. 1994. Microbial modeling. *Food Technol.* 48: 113-120.
- Whiting RC. 1995. Microbial modeling, in *food Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 35: 467-494.
- You HC, Park YS, Lee HS, Park KY. 1999. Application of HACCP system to foodservice operations. Korea Health Industry Development Institute.
- You HC, Kim JW. 2000. Development of genetic HACCP model for practical application in mass catering establishments, *Korean J. Soc. Food Sci.* 16: 232-244.