

즉석섭취 삼각김밥에서의 *Staphylococcus aureus* 위해평가 연구

이채림¹ · 김연호¹ · 하상도² · 윤요한³ · 윤기선^{1,*}

¹경희대학교 식품영양학과, ²중앙대학교 식품공학부, ³숙명여자대학교 식품영양학과

Risk assessment of *Staphylococcus aureus* infection in ready-to-eat Samgak-Kimbap

Chae Lim Lee¹, Yeon Ho Kim¹, Sang-Do Ha², Yo Han Yoon³, and Ki Sun Yoon^{1,*}

¹Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University

²School of Food Science and Technology, Chung-Ang University

³Department of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University

Abstract Samgak-Kimbap is a popular ready-to-eat (RTE) food at convenience stores, in Korea. Although Samgak-Kimbap is distributed through the cold chain supply system, inappropriate temperature storage conditions prior to consumption are a cause of concern. The objective of this study was to evaluate the risk of *Staphylococcus aureus* growth in Samgak-Kimbap in the retail market. The prevalence and contamination levels of *S. aureus* in Samgak-Kimbap (n=170) were monitored, and the predictive growth model of a five-strain cocktail of enterotoxin-producing *S. aureus* (SEA, SEB, SEC, SED, and SEE) was developed in Samgak-Kimbap as a function of temperature (4, 10, 11, 20, 25, and 37°C). We could not observe the growth of *S. aureus* and enterotoxin-producing *S. aureus* in Samgak-Kimbap at temperatures below 10°C. The probability of illness with *S. aureus* per serving of Samgak-Kimbap was 1.44×10^{-10} per day. The most influential factor in increasing the risk of foodborne illnesses was the contamination level of *S. aureus* in Samgak-Kimbap.

Keywords: *Staphylococcus aureus* enterotoxin, predictive model, risk assessment, ready-to-eat Samgak-Kimbap

서 론

황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*)은 식품을 준비 또는 가공 과정 중에 장독소(Staphylococcal Enterotoxins, SEs)를 분비하여 식중독을 일으키는 대표적인 식중독 원인균 중 하나이다(Chen과 Xie, 2019). 황색포도상구균으로 인한 식중독 원인 식품은 곡류 및 가공품, 복합조리 식품, 유제품 등 다양한 편이며 황색포도상구균의 독소가 함유된 식품을 섭취할 경우 평균 3시간 내에 구토, 설사, 복통과 같은 식중독 증상을 일으킨다(KCDC, 2020). 국내에서는 김밥, 도시락 등 전분질을 주재료로 하는 곡류와 그 가공품이 주된 원인이며, 2002년부터 2019년까지 국내에서 황색포도상구균으로 인한 식중독은 총 218건이 발생했다(MFDS, 2013; MFDS, 2019a).

SEs는 열에 안정적이고, 단백질 분해효소와 낮은 pH에 대한 저항성을 갖고 있어 사람의 위장에서도 충분히 제 기능을 할 수 있는 것으로 알려져 있다(Johler 등, 2015). 현재 SEs는 혈청학적으로 구분되는 것은 20 여종으로 식중독 증상이 나타나기 위한 식품에서의 SEs 최소량은 약 1 ng/g인 것으로 알려져 있다(Evenson 등, 1988; Pinchuck 등, 2010). 식중독 발생은 SEs 중 SEA, SEB, SEC, SED, SEE에 의한 식중독이 95%를 차지하며, 식중독

발병에 기여한 황색포도상구균 중 SEA 독소 유전체를 갖고 있는 것은 국내에서 95.28%, 중국 항저우에서 81.08%, 일본 도쿄에서 78.3%인 것으로 보고되었다(Cha 등, 2006; Chen과 Xie, 2019; Cho 등, 2011; Suzuki 등, 2014).

김밥, 삼각김밥과 같은 즉석섭취식품은 동식물성 원료를 식품이나 식품첨가물을 가하여 제조가공한 것으로 더 이상의 가열, 조리과정 없이 그대로 섭취할 수 있는 식품을 말한다(MFDS, 2019b). 최근 간편식에 대한 소비가 증가하면서 국내 가정간편식 출하 규모는 2017년 기준 5년간 70.8%가 증가하였으며 이중 도시락, 삼각김밥, 샌드위치 등이 포함된 즉석섭취식품이 52.1%로 가장 높은 비중을 차지하였다(FIS, 2019). 그러나 2016년 식품의약품안전처 보고서에 따르면 2006년부터 2015년까지 발생한 국내 식중독 통계자료에서 즉석섭취식품의 발생 건수가 125건으로 두 번째로 가장 많은 발생 건수를 나타낸 것으로 보고되었다(MFDS, 2016).

즉석섭취식품 중 김밥 및 삼각김밥에서의 황색포도상구균 오염도 조사에 대한 국내 연구 결과는 Kang 등(2002)의 214건 중 73건(34.1%), Park 등(2005a)의 50건 중 32건(64%), Park 등(2005b)의 32건 중 20건(62.5%), Yoon 등(2007)의 213건 중 72건(33.8%), Kim 등(2008)의 108건 중 3건(2.8%), Kim 등(2011)의 975건 중 61건(6.3%), Cho 등(2011)의 1332건 중 53건(4%), Kim과 Bae(2019)의 HACCP 비적용 김밥 52건 중 3건(5.8%)이 검출된 것으로 나타났다. 국내에서 2007년에서 2008년에 걸쳐 즉석섭취 및 편의식품류의 식중독균에 대한 기준규격이 신설됨으로써 2008년 이후 즉석섭취식품인 김밥 및 삼각김밥에서의 황색포도상구균 검출률 또한 감소된 경향을 보였다. 또한, 2008년 이전

*Corresponding author: Ki Sun Yoon, Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University, Seoul 02447, Korea
Tel: +82-2-961-0264
E-mail: ksyoon@khu.ac.kr
Received August 20, 2020; revised October 5, 2020;
accepted October 30, 2020

에 김밥 및 삼각김밥에서 검출된 황색포도상구균은 40% 이상이 SEA 독소 생성 균주였으나 2008년 이후에 검출된 황색포도상구균은 SEQ, SEI 두 가지 독소를 같이 생성하는 균주가 가장 많이 검출되었으며 그 뒤를 이어 SEA 독소 생성 균주가 검출되었다(Cho 등, 2011; Kang 등, 2002; Kim 등, 2011; Yoon 등, 2007).

정량적 미생물 위해평가란 특정 병원성 미생물에 오염된 식품을 섭취했을 때 그 병원성 미생물에 의해 식중독이 일어날 확률을 과학적으로 분석하는 방법이다. 정량적 미생물 위해평가는 국내외적으로 기준규격 설정 및 미생물 안전관리 등을 위해 수행되며 위험성 확인, 노출평가, 위험성 결정, 위해도 결정의 절차에 따라 진행된다(MFDS, 2019c).

국내의 김밥에 대한 황색포도상구균의 정량적 미생물 위해평가 연구로는 Bahk 등(2005)의 연구와 Yoon 등(2011)의 연구가 있다. 그러나 Bahk 등(2005)의 연구에선 용량-반응모델의 부재로 위험성결정 단계에서 노출평가와 용량-반응모델을 결합시키지 못하였다. Yoon 등(2011)은 김밥 섭취로 인한 황색포도상구균 위해노출 시나리오를 단순히 섭취 직전 25°C에서 2시간 또는 5시간 보관하는 두 가지 경우로만 평가하여 미생물 성장에 영향을 줄 수 있는 조건(운송, 마켓, 보관온도 등)이 고려되지 못하였다.

최근 국내 편의점에서 유통되는 즉석섭취식품 삼각김밥에 대한 황색포도상구균 위해평가 연구 결과는 보고된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 삼각김밥에서의 5가지 독소(SEA, SEB, SEC, SED, SEE)를 생성하는 황색포도상구균에 대해 정량적 미생물 위해평가를 수행하였다. 본 연구에서는 선행연구에서 부재했던 용량-반응모델과 편의점 마트에서 가정까지의 노출평가 시나리오를 적용하여 삼각김밥의 섭취에 따른 황색포도상구균 식중독 발생 가능성을 평가하였다.

재료 및 방법

위험성 확인(Hazard identification)

황색포도상구균이 인체에 직접 및 간접적으로 주는 영향을 알아보기 위해 황색포도상구균에 대한 특성 조사와 함께 국내외의 문헌조사를 통한 식품에서의 황색포도상구균 검출현황, 식중독 발생사고 및 주요 임상 증상 등을 분석하였다(Gormley 등, 2011; Finger 등, 2019; Krouantona 등, 2007; Le Loir 등, 2003; MFDS, 2019a; MFDS, 2019b; Oh 등, 2011).

삼각김밥에서 황색포도상구균 오염실태 조사

삼각김밥에서 황색포도상구균의 초기오염수준(initial contamination level)은 대형 유통 편의점 2곳(경기도 안성시)에서 유통되는 삼각김밥 170건의 제품에 대해 분석하였다. 황색포도상구균 정성분석은 무균적으로 채취한 시료 25 g에 10% NaCl (NaCl, Daejung Chemicals & Metals Co., Siheung, Korea)를 첨가한 tryptic soy broth (TSB, Difco Laboratories Inc., Sparks, NV, USA) 225 mL를 가하여 37°C에서 24시간 증균 배양 후, 난황첨가 Baird-Parker agar (BPA, Becton Dickinson Co., Bergen, NJ, USA)에 도말하여 의심균락을 확인하였다. 황색포도상구균 정량분석은 무균적으로 채취한 시료 25 g에 0.1% peptone water (PW, Difco Laboratories Inc.) 225 mL를 가하여 10진 희석 후 난황첨가 BPA에 도말하여 의심균락을 확인하여 계수하였다. 황색포도상구균 의심균락의 생화학적 성상은 VITEK 2 gram-positive (GP) identification card (BioMerieux Inc., Marcy-l'Etoile, France)를 사용한 VITEK 2 compact (BioMerieux Inc.)와 MALDI Biotyper system (Bruker Instruments Inc., Billerica, MA, USA)으로 판정한

결과를 활용하였다.

표준균주 및 시험균액 제조

본 연구에 사용된 표준균주로 enterotoxin A를 생성하는 ATCC (American Type Culture Collection) 13565, enterotoxin B를 생성하는 ATCC 14458, enterotoxin D를 생성하는 ATCC 23235, enterotoxin E를 생성하는 ATCC 27664는 한국미생물보존센터(KCCM, Seoul, Korea)으로 부터 구입하였고, enterotoxin C를 생성하는 ATCC 19095는 숙명여자대학교(Sookmyung Women's University, Seoul, Korea)로부터 제공받아 사용하였다. 5가지 표준균주는 각각 tryptic soy broth (TSB, Kisan Bio Co., Seoul, Korea)에 전배양한 뒤 15% glycerol을 첨가하여 -80°C에 보관해 사용하였다. 실험을 위해 보관된 5가지 균주를 각각 TSB 10 mL에 10 µL씩 접종하여 36°C에서 140 rpm으로 24시간 동안 전배양(VS-8480 SR, Vision Scientific Co., Daejeon, Korea)하였다. 각각의 전배양액을 50 mL 코니컬 튜브(SPL Life Sciences Co., Pocheon, Korea)에 담아 4°C에서 1,912×g으로 15분간 원심분리(VS-550, Vision Scientific Co.)하여 cell pellet을 얻고 이를 멸균된 0.1% peptone water (PW, Difco Laboratories Inc.)로 2회 세척한 다음 각각의 배양액을 혼합하여 멸균된 0.1% peptone water를 이용하여 10진 희석해 사용하였다.

삼각김밥에서 황색포도상구균 혼합균주 접종 및 행동예측 모델 개발

10 g씩 무균적으로 채취한 삼각김밥에 5개의 다른 독소를 생성하는 황색포도상구균 혼합균주를 초기 균수가 약 3-4 log CFU/g 이 되도록 접종하였다. 이후 시료를 4, 10, 11, 17, 20, 25, 37°C에 각각 일정 기간 저장하여 황색포도상구균의 행동 변화를 관찰하였다. 저장 기간 중 일정 시간마다 각각의 시료 10 g과 멸균된 0.1% PW 90 mL를 멸균백에 넣어 균질기를 이용하여 2분간 균질 후 0.1% PW로 10진 희석하여 Baird-Parker agar (BPA, Kisan Bio Co., Seoul, Korea)에 spiral plate (Whitley Automated Spiral Plater, Don Whitley Scientific Co., West Yorkshire, UK)를 사용하여 분주하였다. 황색포도상구균은 37°C에서 48시간 배양 후 집락율 colony counter (Scan 1200, Interscience Inc., Saint Nom, France)로 계수하였다. 각 온도에서의 1차 성장 예측모델은 Modified Gompertz model (Gibson 등, 1987) 공식을 이용하였고 GraphPad Prism V 7.03 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA)프로그램을 사용하여 유도기(lag phase duration, LPD), 최대 증식속도(specific growth rate, SGR), 그리고 최대개체군밀도(maximum population density, MPD)를 산출하였다.

Modified Gompertz equation

$$Y=N_0+C \times \exp(-\exp((2.718 \times SGR/C) \times (\text{Lag}-X)+1)) \quad (1)$$

N_0 : 초기 균 로그수

C: 마지막과 초기 균수의 차이

Lag: 유도기(h)

SGR: 최대증식속도(log CFU/h)

X: 시간(h)

Y: 균수(log CFU/g)

삼각김밥에서 황색포도상구균의 2차 모델은 1차 성장예측모델 결과로부터 구해진 LPD, SGR, MPD 값의 변화를 각각 Davey model (Davey, 1991), Square root model (Ratkowsky 등, 1982), Polynomial second order model (McMeekin 등, 1993) 공식에 적

용하여 산출하였다.

Davey model

$$Y=a+(b/T)+(c/T^2) \quad (2)$$

Y: LPD (h)

a, b, c: 상수

T: 온도

Square root model

$$Y=\{b(T-T_{min})\}^2 \quad (3)$$

Y: SGR (log CFU/h)

b: 상수

T: 온도

Polynomial second order model

$$Y=a+(b \times T)+(c \times T^2) \quad (4)$$

Y: MPD (log CFU/g)

a, b, c: 상수

T: 온도

예측모델의 적합성 평가

개발된 황색포도상구균 예측모델 식에 대한 적합성을 평가하고자 통계적 지표인 RMSE (root mean square error), bias factor (B_f), accuracy factor (A_f)를 산출하였다. RMSE는 실험을 통해 얻은 값과 예측값과의 차이를 통해 얻을 수 있는 수치로 0에 가까울수록 개발된 모델의 적합도가 높아진다(Baranyi 등, 1996). B_f 는 실험을 통해 얻은 값과 유도된 2차 모델 식에서 얻은 값의 상대적 편차를 평가하는 수치로 0.7-1.15 사이의 값을 나타내면 모델이 적합하다는 것을 나타낸다(Ross, 1996). B_f 는 성장모델이 사용하기 안전한 모델(fail-safe, $B_f < 1$)인지 위험한 모델(fail-dangerous, $B_f > 1$)인지를 평가하는 척도로 사용된다. A_f 는 예측된 값이 얼마만큼 실험값과 가까운가를 측정하는 척도로 두 값이 일치했을 때 1을 기준으로 A_f 값이 1에서 멀어질수록 개발된 모델의 부정확성을 나타내나, 안전한 모델(fail-safe)인가에 대한 방향성을 제시하지 않는다(Oscar, 2005).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\text{observed} - \text{predicted})^2}{n}} \quad (5)$$

n: number of observation

$$B_f = 10^{\sum \text{Log}(\text{predicted}/\text{observed})/n} \quad (6)$$

n: number of observation

$$A_f = 10^{\sum |\text{Log}(\text{predicted}/\text{observed})|/n} \quad (7)$$

n: number of observation

편의점에서 가정까지의 단계별 노출 평가 시나리오

편의점 판매대에서 보관 중 황색포도상구균 성장 추정을 위해서 편의점 판매대 보관시간과 온도를 실측한 결과 보관시간은 최소 0h, 최대 48h로 RiskUniform (0, 48)이, 보관온도는 최소 3.846, 최대 12.355로 RiskUniform (3.846, 12.355)이 가장 적합한 확률분포 모델로 선정되었다. 편의점에서 가정으로 운송 중 황

색포도상구균 성장 추정을 위해서 편의점에서 가정으로 운송하는 시간 및 온도는 Jung(2011)의 연구결과를 사용하여 운송시간은 최소 0.325시간, 최빈 0.984시간, 최대 1.643시간을 적용한 RiskPert (0.325, 0.984, 1.643)이, 운송온도는 최소 10°C, 최빈 18°C, 최대 25°C를 적용한 RiskPert (10, 18, 25)가 가장 적절한 확률분포모델로 선정되었다.

삼각김밥의 섭취량 및 섭취자 비율 조사

섭취량이란 해당 식품을 한 사람이 하루에 평균적으로 섭취하는 양(g/day)를 뜻하며 섭취자 비율은 하루에 한 번 삼각김밥을 섭취하는 비율을 뜻한다. 삼각김밥의 섭취량 및 섭취자 비율 조사는 MFDS(2012a)에서 1,000명을 대상으로 조사한 ‘미생물 위해 평가를 위한 50대 주요 식품의 섭취량 및 섭취패턴 조사 결과’를 활용하여 excel spreadsheet에 입력하고 @RISK 7.5 (@RISK, palisade, Sydney, Australia)로 distribution fitting 하여 도출해낸 확률분포모델 식인 RiskPearson5를 이용하였으며 삼각김밥의 1일 평균 섭취량과 섭취자 비율은 각각 191.31g과 0.033으로 나타났다.

위험성 결정(Hazard characterization)

위험성 결정 단계에서 황색포도상구균 용량-반응 모델은 Rose와 Haas(1999)의 exponential model을 이용하였다.

$$\text{Exponential model: } 1 - \exp(-r \times D) \quad (r = 7.64 \times 10^{-8}) \quad (8)$$

r: 하나의 세포에 의해 질병이 발생할 수 있는 확률

D: 황색포도상구균의 섭취로 노출된 세포 수

위해도 결정(Risk characterization)

삼각김밥 섭취로 인한 황색포도상구균에 의한 식중독 발생 확률을 추정하기 위해 수식과 입력변수는 excel spreadsheet에 작성하여 시나리오를 모델화하였으며, 개발된 모델은 @RISK 7.5를 이용하여 Monte Carlo simulation 활용해 위해도도를 산출하였다(Table 1). Iteration (반복 시행 횟수)은 10,000번 이상의 결과를 최종적인 시뮬레이션 결과로 사용하였다. Simulation 결과를 바탕으로 @RISK 7.5를 활용하여 민감도 분석(sensitivity analysis)을 통해 상관계수를 산출하였다.

pH와 수분 활성도 측정

pH를 측정하기 위해 10g으로 소분한 뒤 90mL의 증류수를 가하여 2분간 균질화하여 pH meter (Orion Star™ A211 pH Benchtop Meter, ThermFisher Scientific Co., Waltham, MA, USA)를 사용하여 측정하였다. Aw는 수분활성측정기(HP23, Rotronic Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다.

통계처리

본 연구는 SAS Software, version 9.4 (SAS Institute Inc., NC, USA)를 이용하여 온도별 삼각김밥의 LPD, SGR, MPD 값의 유의적인 차이 검증에 대해 One-way ANOVA의 Duncan's multiple range test로 분석하였으며 $p < 0.05$ 수준에서의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

위험성 확인(Hazard identification)

황색포도상구균은 통성혐기성 무아포 구균으로 자연계에 널리 분포하며 장독소(staphylococcal enterotoxins)를 생성하여 사람에게 구토와 설사를 동반하는 식중독을 유발하는 세균이다(Le Loir 등,

Table 1. Excel spreadsheet for calculating the risk of *S. aureus* in Samgak-Kimbap with @RISK

Symbol	Unit	Definition	Formula	Reference
Product				
Pathogens contamination level				
PR		Prevalence of <i>S. aureus</i> in Samgak-Kimbap	=RiskBeta (1, 171)	This research
CL	CFU/g	Contamination level of <i>S. aureus</i>	=-LN (1-PR)/25	This research; Sanaa 등, 2004
IC	log CFU/g	Initial contamination level	=LOG (CL)	MFDS, 2012a
Market				
Market storage				
M _{time}	h	Storage time in market	=RiskUniform (0, 48)	This research
M _{temp}	°C	Storage temperature in market	=RiskUniform (3.846, 12.355)	
Growth at market				
SGR ₁	log CFU/h	Specific growth rate	={0.0248*(M _{temp} -5.442)} ²	This research
LPD ₁	h	Lag phase duration	=0.5399+(-42.13/M _{temp})+(3047/M _{temp} ²)	
C		Difference between initial and final cell numbers	=2.948 (Fixed)	
G ₁	log CFU/g	Growth model	=IC+C*EXP[-EXP{(2.718*SGR ₁ /C) *(LPD ₁ -M _{time})+1}]	
C ₁	log CFU/g		=IF(M _{temp} ≥13, G ₁ , IC)	
Transportation				
Transportation to home				
T _{time}	h	Transportation time to home	=RiskPert (0.325, 0.984, 1.643)	Jung, 2011
T _{temp}	°C	Transportation temperature to home	=RiskPert (10, 18, 25)	
Growth during transportation				
SGR ₂	log CFU/h	Specific growth rate	={0.0248*(T _{temp} -5.442)} ²	This research
LPD ₂	h	Lag phase duration	=0.5399+(-42.13/T _{temp})+(3047/T _{temp} ²)	
C	Fixed	Difference between initial and final cell numbers	=2.948 (Fixed)	
G ₂	log CFU/g	Growth model	=G ₁ +C*EXP[-EXP{(2.718*SGR ₂ /C) *(LPD ₂ -T _{time})+1}]	
C ₂	log CFU/g		=IF(T _{temp} ≥13, G ₂ , C ₁)	
Consumption				
Consume		Daily consumption average amount	=RiskPearson5 {6.272, 764, RiskShift (46.379)}	MFDS, 2012b
Intake rate	Fixed	Intake rate	=0.033	
Amount		Daily consumption average amount considered Intake rate=Consume×Intake rate		
Dose-Response				
Dose (D)		<i>S. aureus</i> amount	=10 ^{C2} ×Amount	Rose와 Haas, 1999
Model		Parameter of r	=7.64×10 ⁻⁸	
Risk Characterization				
Risk		Probability of illness/person/day	=1-EXP (-R×D)	

2003). 장독소 중 SEA는 세계적으로 가장 빈번하게 식중독과 연관되는 독소로(Krouantona 등, 2007) 국내 즉석섭취식품에서 분리한 황색포도상구균 154개 중 SEA 독소 유전자를 갖는 균주는 68개로 44.2%를 차지한다(Oh 등, 2011). 국내에서는 즉석섭취식품류에 대해 황색포도상구균을 1g당 100 CFU 이하로 관리하고 있으며 최근 20년간 황색포도상구균으로 인한 식중독 환자 수는 8,270명으로 보고되었다(MFDS, 2019a; MFDS, 2019b). Gormley 등(2011)에 따르면 1992년부터 2008년까지 17년간 영국에서 발생한 식중독 원인 물질 중 황색포도상구균으로 인한 환자 수는 305명인 것으로 나타났고 Finger 등(2019)은 2000년부터 2018년까지 19년간 브라질에서의 환자 수는 15,742명인 것으로 보고하였다(Table 2).

노출평가(Exposure assessment)

삼각김밥에서 황색포도상구균의 오염현황

시중 편의점에서 유통되는 삼각김밥 제품(n=170)에 대해 황색포도상구균 정성 및 정량 실험을 진행한 결과 모든 제품에서 황색포도상구균은 검출되지 않았다.

삼각김밥에서 황색포도상구균의 1차 행동예측모델 개발

각각 다른 독소를 생성하는 5가지(SEA, SEB, SEC, SED, SEE) 황색포도상구균 혼합 균주를 삼각김밥에 접종한 뒤 온도에 따른 행동 변화를 분석하였다. 본 연구에서는 11°C 이상의 온도에서부터 성장이 관찰되어 11-37°C 범위에서 황색포도상구균 혼합균주에 대한 1차 성장 예측모델을 개발하였다. 각각의 온도에서 개발

Table 2. Outbreak of staphylococcal food poisoning in Korea, UK and Brazil

Country	Year	Cases	Reference
Korea	2000-2019	8,270	MFDS, 2019a; MFDS, 2019b
UK	1992-2008	305	Gormley 등, 2011
Brazil	2000-2018	15,742	Finger 등, 2019

Table 3. Observed values for lag phase duration, specific growth rate, most population density of a five-strain cocktail of enterotoxin-producing *S. aureus* in Samgak-Kimbap

Storage temperature (°C)	LPD (h)	SGR (log CFU/h)	MPD (log CFU/g)	R ²
11	21.89±0.099 ^{a1)}	0.016±0.002 ^c	3.672±0.027 ^c	0.960
20	6.137±0.262 ^b	0.163±0.001 ^b	7.581±0.011 ^b	0.997
25	3.611±0.052 ^c	0.203±0.016 ^b	8.154±0.345 ^a	0.992
37	1.669±0.413 ^d	0.618±0.048 ^a	7.811±0.108 ^{ab}	0.997

Each value represents the mean±SD.

¹⁾Different letters in a same column indicate a significant difference by Duncan's multiple range test at $p<0.05$

Table 4. Water activity and pH of kimbap and Samgak-Kimbap

Sample	Aw	pH
Restaurant	0.97±0.001	6.17±0.035
Convenience store	0.94±0.003	5.80±0.133

된 1차 성장 예측모델에서 유도기(LPД), 최대증식속도(SGR) 및 최대개체군밀도(MPD)를 산출하였으며, 온도가 높아질수록 LPD 값은 감소하고 SGR 값은 증가하는 것이 확인되었다. MPD 값은 저장온도가 증가함에 따라 3.672 log CFU/g에서 7.811 log CFU/g으로 증가하는 것을 볼 수 있으며, 11°C에서 MPD 값이 가장 낮아 본 연구에서 11°C가 삼각김밥에서 황색포도상구균 혼합 균주의 성장 경계온도인 것으로 확인되었다(Table 3).

김밥에 접종된 SEA를 생성하는 황색포도상구균이 8°C에서부터 성장이 관찰된 선행연구(MFDS, 2009)와 달리 본 연구의 삼각김밥에서는 4, 10°C에서 황색포도상구균 혼합 균주의 성장이 관찰되지 않았다. 이는 선행연구에서 사용한 김밥 시료와 본 연구에서 사용한 삼각김밥 시료 간의 이화학적 특성 차이 때문인 것으로 보인다. 선행연구에서 사용한 시료는 김밥전문점에서 판매하는 김밥으로 Aw와 pH가 각각 0.97, 6.17인 반면 본 연구에

서 사용한 삼각김밥의 Aw와 pH는 0.94, 5.80으로 선행연구 시료보다 Aw와 pH 값이 낮은 것으로 확인되었다(Table 4). Valero 등 (2009)에 따르면 중성의 pH에서 Aw가 0.974 이상이면 8°C의 온도에서도 황색포도상구균의 성장을 관찰할 수 있다고 보고하였다. 따라서 동일한 식품 유형이라도 Aw의 차이에 따라 황색포도상구균의 성장 가능 최소 온도가 달라질 수 있어 본 연구와 선행연구 간에서도 차이를 보이는 것으로 판단된다.

삼각김밥에서 온도에 따른 황색포도상구균의 2차 행동예측 모델 개발 및 검증

1차 성장사멸 예측 모델 매개변수인 LPD, SGR, MPD 값이 보관온도에 따라 어떻게 영향을 미치는지를 나타내는 2차 행동예측 모델을 LPD 값은 Davey model, SGR 값은 Square-root model, MPD 값은 Polynomial second order model을 이용하여 각각 개발하였다(Fig. 1). 본 연구에서 삼각김밥에 접종된 황색포도상구균 혼합 균주의 성장은 온도가 증가함에 따라 LPD 값은 21.89시간에서 1.669시간으로 감소하고, SGR은 0.016 CFU/h에서 0.618 CFU/h로 증가하는 경향을 보였다. 이는 즉석섭취식품에서 황색포도상구균의 2차 예측모델을 개발한 선행연구들과도 일치하는 결과였다(Choi 등, 2019; Ding 등, 2011; Kang 등, 2010).

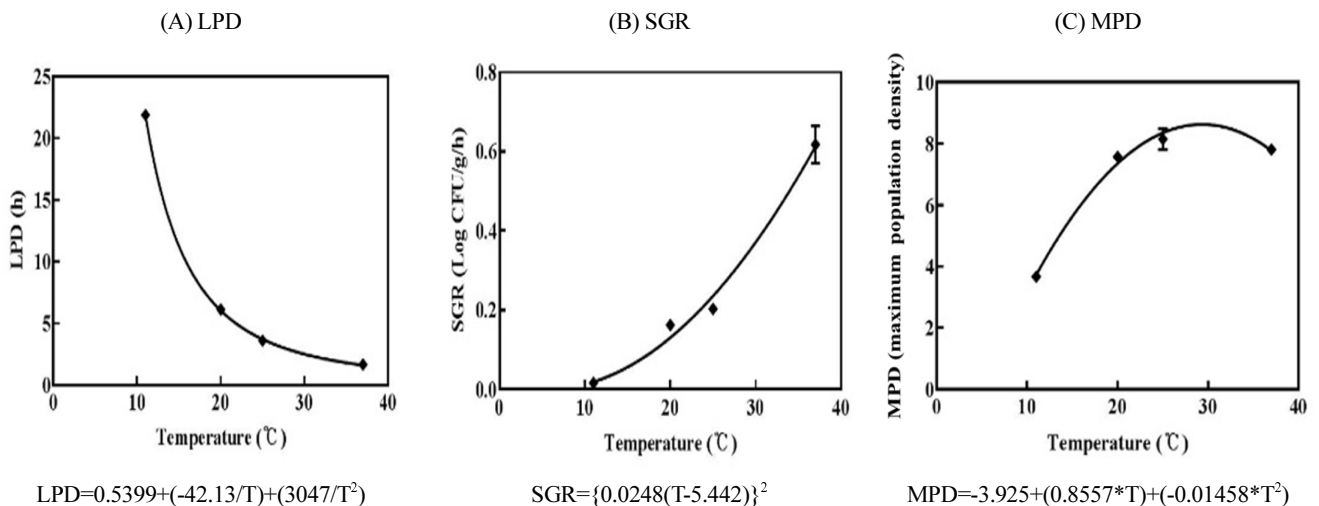


Fig. 1. Secondary growth model for (A) LPD, (B) SGR and (C) MPD of cocktail S. aureus in Samgak-Kimbap as a function of temperature.

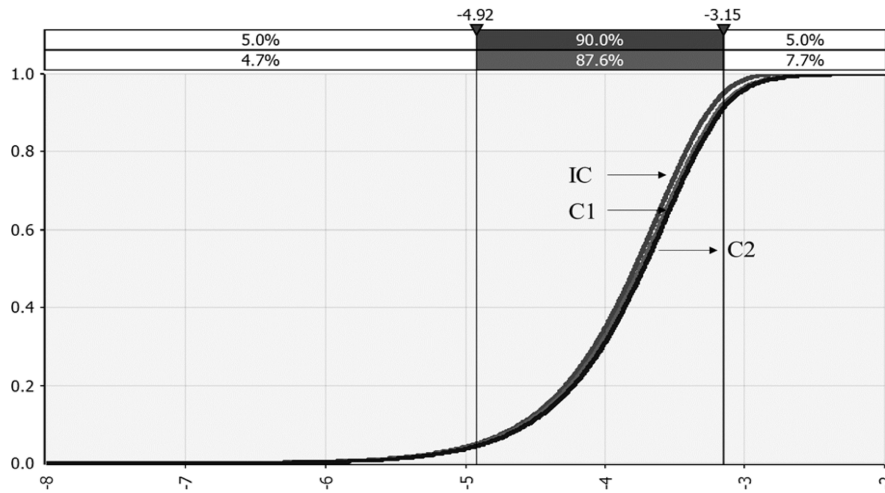


Fig. 2. Cumulative distribution for the contamination level of *S. aureus* in Samgak-Kimbap. IC: initial contamination, C1: market, C2: transportation to home.

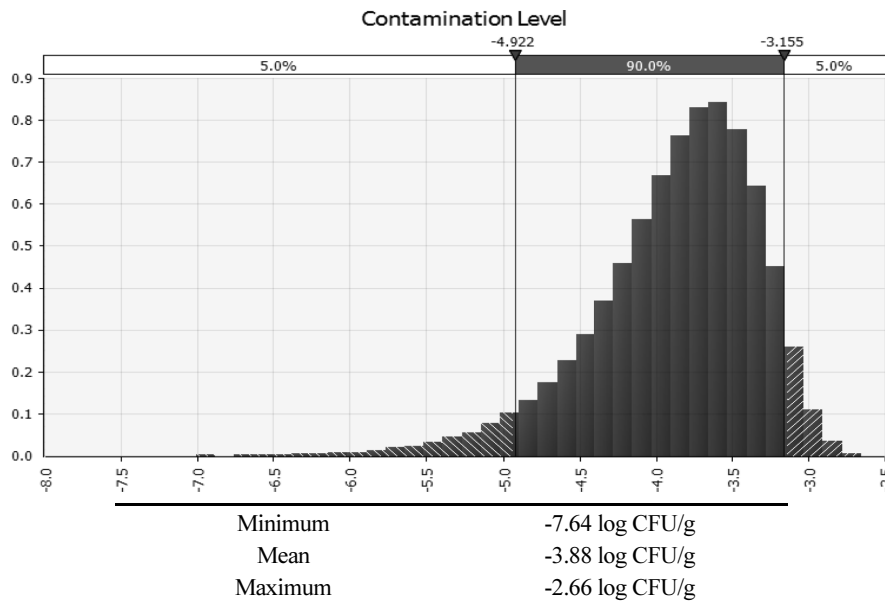


Fig. 3. Probability distribution for initial contamination level of *S. aureus* in Samgak-Kimbap.

적합성 검증을 위하여 생장 모델 개발에 사용되지 않은 온도 30°C에서 LPD, SGR 값의 예측 적합성 검증을 위한 추가실험을 진행하였다. 개발된 모델 식을 통해 얻은 예측값과 30°C에서의 실험값을 통해 산출한 LPD의 B_0 , A_0 , RMSE 값은 1.10, 1.22, 0.136으로, SGR의 B_0 , A_0 , RMSE 값은 1.05, 1.25, 0.004로 나타났다. RMSE는 값이 0에 수렴할수록 예측모델의 적합성이 높아 본 연구에서 개발된 모델은 적합한 것으로 판단된다.

@RISK를 이용한 삼각김밥에서 황색포도상구균의 정량적 위험평가

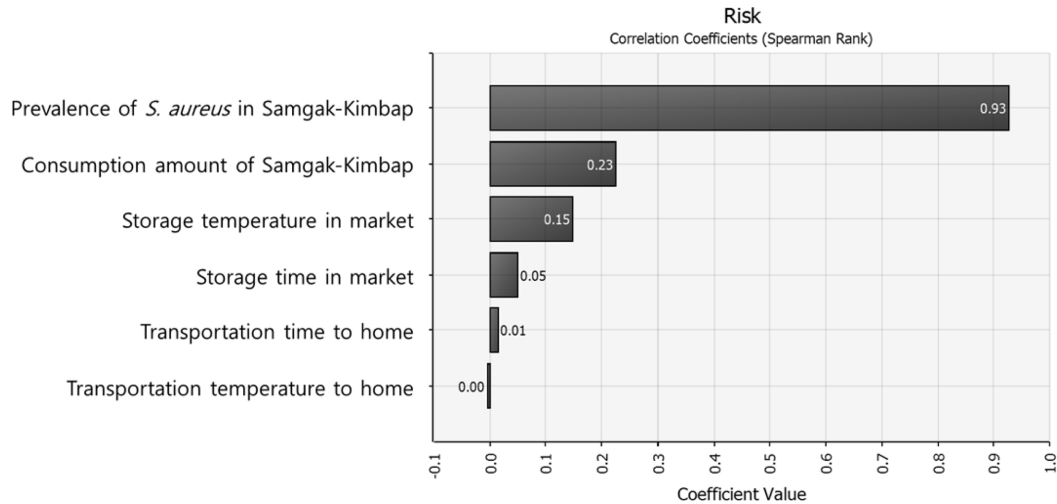
삼각김밥의 판매장에서 가정까지의 유통환경에 따라 황색포도상구균의 오염도 변화 및 최종 오염수준을 예측한 결과는 다음 Fig. 2와 같다. 노출평가 단계에서 삼각김밥에 대한 황색포도상구균 초기오염도(initial contamination, IC)를 조사한 결과, 총 170개의 삼각김밥 시료에서 황색포도상구균의 오염도는 모두 음성으로 나타났다. 오염실태조사 결과를 반영할 수 있는 확률분포모델

RiskBeta를 활용하여 황색포도상구균의 초기 오염수준을 추정하였다. 추정결과 삼각김밥에서 황색포도상구균 초기 오염수준은 평균 -3.88 log CFU/g, 최소 -7.63 log CFU/g, 최대 -2.66 log CFU/g로 확인되었다(Fig. 3). Bahk 등(2005)에 따르면 김밥에서의 황색포도상구균 초기오염 수준은 평균 1,595 CFU/g, 최소 407 CFU/g, 최대 3,162 CFU/g였고 Yoon 등(2011)은 평균 0.096 log CFU/g, 최소 -0.72 log CFU/g, 최대 0.38 log CFU/g으로 본 연구의 값 보다 높은 오염수준을 나타내었는데 이는 두 선행연구 모두 즉석섭취식품에 대한 황색포도상구균의 오염규격이 신설되기 이전의 모니터링 자료를 활용하였기 때문으로 사료된다.

편의점 판매대에서의 삼각김밥 보관온도 및 시간은 편의점에서 직접 측정된 판매대의 온도와 실무자와의 면담을 통한 판매대에서의 제품 진열 시간 데이터를 적용하였다. 보관시간은 최소 0시간에서 최대 48시간까지로 설정하여 RiskUniform (0, 48)을 활용하였고, 보관온도는 RiskUniform (3.846, 12.355)를 활용하였다. 결과적으로 편의점에서 보관 중인 삼각김밥에서 황색포도상구균

Table 5. Probability risk of foodborne illness by *S. aureus* per one serving of Samgak-Kimbap per day

	Minimum	25%	Mean	95%	Maximum
Probability of illness/one serving/day	7.33×10^{-15}	3.41×10^{-11}	1.44×10^{-10}	4.56×10^{-10}	5.32×10^{-9}

**Fig. 4. The regression coefficient for sensitivity risk factor affecting probability of foodborne illness of *S. aureus* by consumption of Samgak-Kimbap.**

평균 오염수준은 $-3.83 \log \text{CFU/g}$ 으로 분석되었다. 선행연구 (Bahk 등, 2005)에서 매장 보관 중인 김밥의 황색포도상구균 성장은 평균 $3.40 \log \text{CFU/g}$ 으로 본 연구보다 높은 값을 나타냈다. 이는 선행연구 당시 김밥 제조매장에서 김밥을 구매하는 빈도가 57%로 가장 높아(MFDS, 2004) 일반 김밥제조매장의 평균 보관 온도와 보관시간인 22.5°C 와 2.31시간의 값을 사용했기 때문으로 사료된다. 최근에는 김밥류 등 즉석섭취식품에 대한 소비가 대형 할인점(36.4%), 편의점(15.4%)에서 이루어지며(KREI, 2019) 매장 내 냉장 판매대 온도 관리를 철저히 하여 판매장에서 보관 중인 삼각김밥에서 황색포도상구균의 오염도는 과거보다 감소한 것으로 확인되었으며, 냉장 온도 관리가 즉석섭취 식품인 김밥류에서 황색포도상 구균의 리스크를 감소시키는데 기여한 것으로 사료된다.

소비자가 판매장에서 식품 구매 후 가정으로 운송하는 시간 및 온도는 Jung(2011)의 연구내용을 활용하였다. 판매장에서 식품을 구매 후 가정으로 운송될 때 시간은 최소 0.325시간, 최빈 0.984시간, 최대 1.643시간으로 설정하여 RiskPert (0.325, 0.984, 1.643) 확률분포 값을 활용하였다. 또한, 제품을 가정까지 운반할 때 품 온은 최소 최빈 최대 온도가 각각 10, 18, 25°C 인 것을 반영하여 RiskPert (10, 18, 25)로 추정하였다. 결과적으로 운송 중인 삼각 김밥에서 황색포도상구균 최종 평균 오염수준은 $-3.81 \log \text{CFU/g}$ 으로 유지되는 것으로 확인되었다. 이는 선행연구(Bahk 등, 2005)의 김밥을 통한 황색포도상구균의 최종 평균 오염수준인 $3.67 \log \text{CFU/g}$ 보다 현저히 낮아 과거보다 즉석섭취식품 중 김밥류에서 황색포도상구균에 대한 유통 관리가 잘 이루어지고 있음을 나타 내었다.

위험성 결정(Hazard characterization)

유통단계를 거치면서 삼각김밥 1g당 황색포도상구균의 오염수 준 추정 결과와 미생물 위해평가를 위한 50대 주요 식품의 섭취 량 및 섭취패턴 데이터(MFDS, 2012a)를 기반으로 추출한 삼각김 밥의 섭취량 및 섭취자 비율 분포를 통해 삼각김밥으로부터 하 루에 한 사람이 섭취할 수 있는 황색포도상구균 오염량을 추정

하였다. 추정된 오염량과 황색포도상구균 용량-반응 모델(Rose와 Haas, 1999)에 적용하여 최종 위해도를 산출한 결과는 다음 Table 5와 같다. @RISK 프로그램을 이용하여 반복 시행 횟수 10,000 번 이상의 결과를 최종적인 위해도 데이터로 활용하였고 시뮬레 이션을 통하여 1일 1회 시중에 판매 중인 삼각김밥을 섭취하였 을 경우 황색포도상구균에 의한 식중독 발생확률은 평균 1.44×10^{-10} 으로 추정되었다.

위해도 결정(Risk characterization)

민감도 분석을 통해 @RISK에 입력한 변수가 추정된 위해도 에 미치는 영향에 대해 상관성을 분석한 결과, 황색포도상구균 오염수준이 0.93으로 가장 높은 양의 상관관계를 나타냈다. 그다 음으로 섭취량(0.23), 편의점 보관온도(0.15), 편의점 보관시간(0.05) 등의 변수가 위해도와 가장 높은 양의 상관관계를 보였다(Fig. 4). Bahk 등(2005)에 따르면 김밥에서의 황색포도상구균 식중독 발생 가능성에 대한 민감도 분석 결과는 판매매장에서의 보관시간 (0.368), 소비자들의 구매 후 바로 섭취하는 여부인 섭취습관(0.11), 매장에서의 보관온도(0.059) 등의 변수가 위해도와 가장 높은 양 의 상관관계를 보이는 것으로 보고되었다. 본 연구와 선행연구에 서 모두 판매장의 보관온도나 보관시간에 대한 변수가 위해도와 높은 양의 상관관계를 나타냈다. 따라서 김밥류에서의 황색포도 상구균 식중독 발생 위험성을 감소시키기 위해서는 유통과정 중 판매장에서의 온도 및 시간 관리가 가장 핵심적인 역할을 할 것 으로 사료된다.

요 약

본 연구는 삼각김밥에서 황색포도상구균 위해평가를 통해 삼 각김밥의 섭취에 따른 황색포도상구균 식중독 발생 가능성을 분 석하였다. 삼각김밥에 대한 황색포도상구균 오염도를 조사한 결 과 170개의 시료가 모두 황색포도상구균 음성이었으며, 확률분포 조사를 통해 확인된 삼각김밥에서의 황색포도상구균의 초기 오

염수준은 평균 $-3.88 \log \text{CFU/g}$ 이었다. 삼각김밥의 섭취량 및 섭취자 비율은 미생물 위해평가를 위한 50대 주요 식품의 섭취량 및 섭취패턴 자료를 바탕으로 적정 확률분포모델을 도출하였으며, 삼각김밥의 1일 평균 섭취량과 섭취자 비율은 각각 191.31 g과 0.033으로 나타났다. 유통환경에 따라 시나리오를 구성하여 최종적으로 1일 1회 삼각김밥을 섭취하였을 때 황색포도상구균에 의한 식중독 발생확률은 평균 1.44×10^{-10} 로 추정되었다. 민감도 분석에서는 황색포도상구균 오염수준, 섭취량, 편의점 보관온도, 편의점 보관시간 등의 변수가 위해도와 가장 높은 양의 상관관계를 보였다. 본 연구에서는 삼각김밥에서의 황색포도상구균 식중독 발생 가능성은 인구 100,000명이 삼각김밥을 1일 1회 섭취했을 때 0.0000144명에게서 식중독이 발생할 수 있는 것으로 나타나 계속적으로 안전한 삼각김밥이 소비자에게 유통되기 위해서는 지속적으로 삼각김밥의 안전한 제조, 매장 내 보관온도 및 시간에 대한 모니터링이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2019년도 식품의약품안전처 용역연구개발과제의 연구개발비 지원(17162MFDS035)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- Bahk GJ, Oh DH, Ha SD, Park KW, Joung MS, Chun SJ, Park JS, Woo GJ, Hong CH. Quantitative microbial risk assessment model for *Staphylococcus aureus* in Kimbab. Korean J. Food Sci. Technol. 37: 484-491 (2005)
- Baranyi J, Ross T, Roberts TA, MeMeekin TA. Effects of parameterization on the performance of empirical models used in 'predictive microbiology'. Food Microbiol. 13: 83-91 (1996)
- Cha JO, Lee JK, Jung YH, Yoo JI, Park YK, Kim BS, Lee YS. Molecular analysis of *Staphylococcus aureus* isolates associated with staphylococcal food poisoning in South Korea. J. Appl. Microbiol. 101: 864-871 (2006)
- Chen Q, Xie S. Genotypes, Enterotoxin Gene Profiles, and Antimicrobial resistance of *Staphylococcus aureus* associated with foodborne outbreaks in Hangzhou, China. Toxins. 11: 307 (2019)
- Cho YS, Lee JY, Lee MK, Shin DB, Kim DH, Park KM. Prevalence and characterization of *Staphylococcus aureus* pathogenic factors isolated from various foods in Korea. Korean J. Food Sci. Technol. 43: 648-654 (2011)
- Choi WS, Son N, Cho JI, Joo IS, Han JA, Kwak HS, Hong JH, Suh SH. Predictive model of *Staphylococcus aureus* growth on egg products. Food Sci. Biotechnol. 28: 913-922 (2019)
- Davey KR. Applicability of the Davey (linear Arrhenius) predictive model to the lag phase of microbial growth. J. Appl. Bacteriol. 70: 253-257 (1991)
- Ding T, Shim YH, Kim HN, Ha SD, Chung MS, Hwang IG, Oh DH. Development of predictive model for the growth of *Staphylococcus aureus* in Kimbab. Food Sci. Biotechnol. 20: 471-476 (2011)
- Evenson ML, Hinds MW, Bernstein RS, Bergdoll MS. Estimation of human dose of staphylococcal enterotoxin A from a large outbreak of staphylococcal food poisoning involving chocolate milk. Int. J. Food Microbiol. 7: 311-316 (1988)
- Finger JA, Baroni WS, Maffei DF, Bastos DH, Pinto UM. Overview of foodborne disease outbreaks in Brazil from 2000 to 2018. Foods 8: 434 (2019)
- Food Information Statistic System (FIS). Status of processed food segment markets 2019-convenience food market. Available from: <https://www.atfis.or.kr/article/M001050000/view.do?articleId=3260&page=&searchKey=&searchString=&searchCategory=>. Accessed Aug. 05. 2019
- Gibson AM, Bratchell N, Roberts TA. The effect of sodium chloride and temperature on rate and extent of growth of *Clostridium botulinum* type A in pasteurized pork slurry. J. Appl. Bacteriol. 62: 479-490 (1987)
- Gormley FJ, Little CL, Rawal N, Gillespie IA, Lebaigue S, Adak GK. A 17-year review of foodborne outbreaks: describing the continuing decline in England and Wales (1992-2008). Epidemiol. Infect. 139: 688-699 (2011)
- Johler S, Giannini P, Jermini M, Hummerjohann J, Baumgartner A, Stephan R. Further evidence for staphylococcal food poisoning outbreaks caused by *egc*-encoded enterotoxins. Toxins. 7: 997-1004 (2015)
- Jung H. Consumer survey and hazard analysis for the improvement of food hygiene and safety in purchase. MS Thesis, Korea University, Seoul, Korea (2011)
- Kang KA, Kim YW, Yoon KS. Development of predictive growth models for *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus* on various food matrices consisting of ready-to-eat (RTE) foods. Food Sci. Anim. Resour. 30: 730-738 (2010)
- Kang YS, Yoon SK, Jwa SH, Lee DH, Woo GJ, Park YS, Kim CM. Prevalence of *Staphylococcus aureus* in Kimbab. J. Food Hyg. Saf. 17: 31-35 (2002)
- Kim HK, Lee HT, Kim JH, Lee SS. Analysis of microbiological contamination in ready-to-eat foods. J. Food Hyg. Saf. 23: 285-290 (2008)
- Kim NH, Yun AR, Rhee MS. Prevalence and classification of toxigenic *Staphylococcus aureus* isolated from refrigerated ready-to-eat foods (sushi, kimbab and California rolls) in Korea. J. Appl. Microbiol. 111: 1456 - 1464 (2011)
- Kim TH, Bae HJ. Microbiological quality assessment of Kimbab with Applied HACCP. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 48: 268-275 (2019)
- Korea Centers for Disease Control Prevention (KCDC). Staphylococcal infection. Available from: <http://www.kdca.go.kr/npt/biz/npp/portal/nppSumryMain.do?icdCd=ND0608&icdgrpCd=04&icdSubgrpCd=ND0006>. Accessed Sep. 11. 2020
- Korea Rural Economic Institute (KREI). In-depth analysis report on processed food consumer attitude survey. Available from: <https://atfis.or.kr/article/M001080000/view.do?articleId=3143&page=&searchKey=&searchString=&searchCategory=>. Accessed Feb. 14. 2019
- Krouanton A, Hennekinnea JA, Letertrea C, Petita L, Chesneaub O, Brisaboisa A, De Buysera ML. Characterization of *Staphylococcus aureus* strains associated with food poisoning outbreaks in France. Int. J. Food Microbiol. 115: 369-375 (2007)
- Le Loir Y, Baron F, Gautier M. *Staphylococcus aureus* and food poisoning. Genet. Mol. Res. 2: 63 - 76 (2003)
- Mcmeekin TA, Olley J, Ross T. Predictive microbiology: theory and application. John Wiley & sons Ltd. Taunton, UK. p. 340 (1993)
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Development of HACCP mandatory item selection tool. Available from: <https://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201900001078>. Accessed Jun. 30. 2016
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Food poisoning statistics. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/healthyfoodlife/foodPoisoningStat.do?menu_no=3724&menu_grp=MENU_NEW02. Accessed Dec. 30. 2019a
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Intake and intake patterns of 50 major foods for microbial risk assessment. Available from: <https://viewer.nanet.go.kr/view/sd;streamdocsId=72059162118777952;currentPage=1;certificationId=7f1f495e-f743-45ab-a195-ce8de73ffd61;searchWord=>. Accessed May. 30. 2012a
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Korea Food Code. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=63. Accessed Dec. 30. 2019b
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Microbial risk assessment guideline. Available from: http://www.nifds.go.kr/brd/m_15/view.do?seq=12733. Accessed Oct. 21. 2019c
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Study on the reduction of foodborne pathogenic bacteria in ready-to-eat (RTE) foods. Available from: <http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO200500002392>. Accessed Dec. 02. 2004

- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). The study of minimum infective dose and dose-response models for foodborne pathogens. Available from: <http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201300028880>. Accessed Nov. 30. 2012b
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). A study on the effective risk management of ready to eat foods via the application of predictive model. Available from : <http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201000014801>. Accessed April. 30. 2009
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Picture book of pathogenic microbiology. Available from: http://www.nifds.go.kr/brd/m_18/view.do?seq=5687&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=19. Accessed Oct. 04. 2013
- Oh SK, Koo M, Lee N, Kim HJ, Oh SW, Choi SY. Distribution of newly described enterotoxin-like genes in *Staphylococcus aureus* isolated from ready-to-eat foods in Korea. *Food Sci. Biotechnol.* 20: 579 - 584 (2011)
- Oscar TP. Development and validation of primary, secondary, and tertiary models for growth of *Salmonella* Typhimurium on sterile chicken. *J. Food Prot.* 68: 2606 - 2613 (2005)
- Park SY, Choi JW, Yeon JH, Lee MJ, Lee DH, Kim KS, Park KH, Ha SD. Assessment of contamination levels of foodborne pathogens isolated in major RTE foods marketed in convenience stores. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37: 274-278 (2005a)
- 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 in the main ingredients of *Kimbab* during the preparing process. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37: 122-128 (2005b)
- Pinchuk IV, Beswick EJ, Reyes VE. Staphylococcal enterotoxins. *Toxins.* 2: 2177-2197 (2010)
- Ratkowsky DA, Olley J, Mcmeekin TA, Ball A. Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures. *J. Bacteriol.* 149: 1-5 (1982)
- Rose JB, Haas CN. A risk assessment framework for the evaluation of skin infections and the potential impact of antibacterial soap washing. *AM. J. Infect. Control.* 27: 26-33 (1999)
- Ross T. Indices for performance evaluation of predictive models in food microbiology. *J. Appl. Bacteriol.* 81: 501-508 (1996)
- Sanaa M, Coroller L, Cerf O. Risk assessment of listeriosis linked to the consumption of two soft cheeses made from raw milk: Camembert of Normandy and Brie of Meaux. *Risk Anal.* 24: 389-399 (2004)
- Suzuki Y, Omoe K, Hu DL, Sato'o Y, Ono HK, Monma C, Arai, T, Konishi N, Kato R, Hirai A, Nakama A, Kai A, Kamata Y. Molecular epidemiological characterization of *Staphylococcus aureus* isolates originating from food poisoning outbreaks that occurred in Tokyo, Japan. *Microbiol. Immunol.* 58: 570-580 (2014)
- Valero A, Prez-Rodrguez F, Carrasco E, Fuentes-Alventosa JM, Garca-Gimeno RM, Zurera G. Modelling the growth boundaries of *Staphylococcus aureus*: effect of temperature, pH and water activity. *Int. J. Food Microbiol.* 133: 186-194 (2009)
- Yoon SK, Ghafoor K, Kang YS, Sohn MG, Hwang IG, Kwon KS, Park J. Exposure assessment of *Staphylococcus aureus* in *Kimbab*, a ready-to-eat Korean food. *Food Sci. Biotechnol.* 20: 23-28 (2011)
- Yoon SK, Kang YS, Sohn MG, Kim CM, Park JY. Prevalence of enterotoxigenic *Staphylococcus aureus* in retail ready-to-eat Korean *Kimbab* rolls. *Food Sci. Biotechnol.* 16: 621-625 (2007)