

소스 종류를 달리한 햄 주먹밥에서의 *Staphylococcus aureus* 성장예측모델 개발 및 위해평가

오수진 · 여성순 · 김미숙[†]
단국대학교 식품영양학과

Development of a Predictive Model and Risk Assessment for the Growth of *Staphylococcus aureus* in Ham Rice Balls Mixed with Different Sauces

Sujin Oh · Seoungsoon Yeo · Misook Kim[†]

Dept. of Food Science and Nutrition, Dankook University, Cheonan 31116, Korea

ABSTRACT

This study compared the predictive models for the growth kinetics of *Staphylococcus aureus* in ham rice balls. In addition, a semi-quantitative risk assessment of *S. aureus* on ham rice balls was conducted using FDA-iRISK 4.0. The rice was rounded with chopped ham, which was mixed with mayonnaise (SHM), soy sauce (SHS), or *gochujang* (SHG), and was contaminated artificially with approximately $2.5 \log \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$ of *S. aureus*. The inoculated rice balls were then stored at 7°C, 15°C, and 25°C, and the number of viable *S. aureus* was counted. The lag phases duration (LPD) and maximum specific growth rate (SGR) were calculated using a Baranyi model as a primary model. The growth parameters were analyzed using the polynomial equation as a function of temperature. The LPD values of *S. aureus* decreased with increasing temperature in SHS and SHG. On the other hand, those in SHM did not show any trend with increasing temperature. The SGR positively correlated with temperature. Equations for LPD and SGR were developed and validated using R^2 values, which ranged from 0.9929 to 0.9999. In addition, the total DALYs (disability adjusted life years) per year in the ham rice balls with soy sauce and *gochujang* was greater than mayonnaise. These results could be used to calculate the expected number of illnesses, and set the hazard management method taking the DALY value for public health into account.

Key words : *Staphylococcus aureus*, ham rice ball, predictive model, risk assessment

This study was supported by National Research Foundation of Korea (2016R1D1A1B03934137), Republic of Korea.

접수일 : 2018년 12월 12일, 수정일 : 2019년 1월 4일, 채택일 : 2019년 1월 4일

[†] Corresponding author : Misook Kim, Department of Food Science and Nutrition, Dankook University, 119 Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan 31116, Korea

Tel : 82-41-550-3494, Fax : 82-50-7085-7919, E-mail : mkim5@dankook.ac.kr, ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-9091-8776>

서론

미국 CDC(Centers for Disease Control and Prevention)의 자료에 의하면(Centers for Disease Control and Prevention 2018) 2012년부터 2016년까지 5년간 *Staphylococcus aureus*에 의한 식중독 발병 건수는 평균 12건으로 보고되었고, 그에 따른 환자 수는 평균 301명으로 보고되었다. 또한 우리나라에서는 2012년부터 2016년까지 평균 7건의 *S. aureus*에 의한 식중독이 발생하였고, 환자 수는 평균 98명이었다(Ministry of Food and Drug Safety 2018). *S. aureus*에 의한 식중독이 발생한 원인식품은 주로 햄, 돼지고기, 닭고기, 칠면조고기 등의 육류와 샐러드, 김밥 등으로 다양하다(Lee 등 2004; Centers for Disease Control and Prevention 2018). *S. aureus*는 사람과 동물의 피부, 장관 등에 존재하며 공기, 토양 등 자연계에 널리 분포하고, 단백질, 탄수화물이 많은 식품에 쉽게 오염되어 독소를 생성한다(Cho 등 2011). *S. aureus*가 생성하는 장독소는 내열성을 가지고 있어 218~248°C의 온도로 30분간 가열해야 파괴되며, 장독소가 생성된 식품은 맛, 형태 및 육안으로 식별하기 어렵기 때문에 식품에서의 *S. aureus*의 오염과 생육을 저해하는 것은 중요하다(Doyle 1989; Ministry of Food and Drug Safety 2015).

식중독 및 식품사고의 사전예방을 위해서 위험성 확인(hazard identification), 노출평가(exposure assessment), 위험성 결정(hazard characterization), 위해도 결정(risk characterization)의 단계로 진행되는 위해평가의 중요성이 강조되고 있다(Chen 등 2013). 위해평가의 노출평가방법으로 예측미생물학(predictive microbiology)의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 예측미생물학은 식품의 내부적 요인과 외부적 요인을 수식에 포함하여 식품 중 미생물의 성장과 사멸을 수학적 모델에 의해 정량적으로 예측하는 것이다(Baranyi & Roberts 1995). 현재까지 육류, 채소류, 유제품류 등의 원재료 및 가공식품과 즉석섭취식품에 오염될 수 있는 병원성 미생물에 대한 성장예측모

델이 개발되고 있다.

주먹밥은 밥을 알맞은 크기로 뭉쳐서 만든 것으로 다양한 재료를 넣어 만들고, 특별한 조리과정 없이 먹을 수 있는 즉석섭취식품으로써 식대용으로 간편하게 섭취할 수 있어 김밥과 함께 편의식품 소비 중 54.4%가 넘는 높은 비율로 소비되고 있다(Kim 등 2015). 그러나 다양한 재료들을 사용하고, 손을 많이 거치는 복합조리과정에서 *S. aureus* 등의 병원성 미생물에 오염될 가능성이 있기 때문에 조리원의 위생상태가 중요하고, 주먹밥을 부적절한 방법으로 보관하게 될 경우 병원성 미생물 증식 가능성이 크다. 따라서 본 연구에서는 *S. aureus*에 쉽게 오염될 수 있는 식품 중 하나인 햄 주먹밥에 소스 종류를 다르게 하여 성장예측모델을 개발하고, 적합성을 조사하여 위해평가를 실시함으로써 소스 종류에 따른 햄 주먹밥의 식중독 발생 가능성을 비교하고자 하였다.

연구방법

1. 실험재료

본 연구에서 미생물은 한국생명공학연구원 생물자원센터(KCTC, Jeongeup, Korea)에서 분양받은 *S. aureus* KCTC 3881이며, tryptic soy broth(TSB, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)에 배양하여 40% glycerol과 함께 -80°C에서 냉동 보관하여 사용하였다. 쌀(Nonghyup, Anseong, Korea), 햄(SPAM, CJ Cheiljedang, Jincheon, Korea), 마요네즈(Ottogi, Eumseong, Korea), 간장(Sempio, Icheon, Korea), 고추장(Haechandeul, CJ Cheiljedang, Nonsan, Korea)은 시중에서 구입하여 사용하였다.

2. 균액 제조 및 주먹밥 제조

*S. aureus*는 TSB에 접종한 후 35°C 배양기

(HB-201SF, Hanbaek Co., Ltd., Bucheon, Korea)에 24시간씩 3회 계대배양하였다. 선행연구들에서 언급된 최소인체위해용량의 장독소를 생성하는 *S. aureus*의 균체 농도는 $5 \log \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$ 으로 보고되어 있어 본 연구에서는 유도기부터 성장패턴을 보고자 $2.5 \log \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$ 수준으로 희석하여 이를 균 액으로 사용하였다(Ramanathan 2010; Son 등 2017; Stevenypark 2011).

햄은 $1 \times 1 \text{ cm}$ 로 잘라 마요네즈, 간장, 고추장과 각각 5:1, 12:1, 12:1 비율로 섞고, 균 액을 접종하여 햄을 오염시킨 후 이를 밥으로 감사 햄 주먹밥을 제조하였다. 마요네즈를 첨가한 햄 주먹밥(SHM), 간장을 첨가한 햄 주먹밥(SHS) 및 고추장을 첨가한 햄 주먹밥(SHG)은 밀폐용 백(Ziploc®, Thai Griptech Co., LTD., Bangkok, Thailand)에 넣고 밀폐시킨 후 각각의 7°C , 15°C , 25°C 의 배양기에서 저장하였다.

3. 균수 측정

*S. aureus*가 접종된 햄 주먹밥을 7°C , 15°C , 25°C 에서 저장하면서 온도별로 6~7회 정도로 시료를 분석하였다. 햄 주먹밥을 0.1% 펄톤수 180 mL와 혼합하여 균질기(BagMixer® 400, Interscience, St. Nom, France)를 이용하여 1분 동안 균질화하였다. 균질화한 시료는 0.1% 펄톤수를 이용하여 10진 희석법으로 희석하여 tryptic soy agar(TSA, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA) 배지에 도말하고 35°C 에서 배양 후 균수를 측정하였다.

4. 1차 성장예측모델 개발

이 연구에서는 Huang model과 Baranyi model을 이용하여 햄 주먹밥에서 *S. aureus*의 1차 성장예측모델을 개발하였다. 1차 성장예측모델 개발에는 예측미생물학 분야의 응용을 위해 개발된 데이터 분석도구인 Integrated Pathogen Modeling Program(IPMP) 2013을 사용하였다(IPMP 2013). Baranyi model의 h_0 값

은 각 반복수의 성장곡선마다 다른 고유한 값을 가지며, 먼저 Baranyi model을 사용하기 위해 일정한 온도 조건에서 관찰된 성장곡선을 분석하여 개별 h_0 값을 얻었다. 보관온도에서 최대성장률(SGR: maximum specific growth rate, $\log \text{CFU/g} \cdot \text{h}$)을 구하기 위해 개별 h_0 의 평균값을 고정값으로 사용하여 모든 성장곡선을 다시 분석하였다(Hong 등 2016a). 또한 온도별 성장패턴 결과를 통하여 유도기(LPD: lag phase duration, h), SGR, 초기 세균수(y_0 : the initial bacterial counts, $\log \text{CFU/g}$) 및 최대 성장 세균수(y_{\max} : the maximum bacterial counts, $\log \text{CFU/g}$)를 도출하였다(Baranyi & Roberts 1995).

Huang model

$$Y(t)^{1)} = y_0^{2)} + y_{\max}^{3)} - \ln \{ e^{y_0} + [e^{y_{\max}} - e^{y_0}] e^{-\mu_{\max}^{4)} B(t)} \}$$

$$B(t)^{5)} = t + \frac{1}{\alpha^{6)}} \ln \frac{1 + e^{-\alpha(t-\lambda)}}{1 + e^{\alpha\lambda}}$$

- 1) Y(t): the natural logarithm of the bacterial counts
- 2) y_0 : the initial bacterial counts
- 3) y_{\max} : the maximum bacterial counts
- 4) μ_{\max} : maximum specific growth rate
- 5) B(t): the transition function
- 6) α : the lag phase transition coefficient

Baranyi model

$$y(t) = y_0^{1)} + \mu_{\max}^{2)} A(t) - \ln \left(1 + \frac{e^{\mu_{\max} A(t)} - 1}{e^{(y_{\max}^{3)} - y_0)} \right)$$

$$A(t) = t^{4)} + \frac{1}{\mu_{\max}} \ln (e^{-\mu_{\max} t} + e^{-h_0^{5)}} - e^{-\mu_{\max} t - h_0})$$

- 1) y_0 : the initial bacterial counts
- 2) μ_{\max} : maximum specific growth rate
- 3) y_{\max} : the maximum bacterial counts
- 4) t: time
- 5) h_0 : the physiological state of the microorganism under consideration

5. 2차 성장예측모델 개발

2차 성장예측모델 개발은 Microsoft Excel[®]의 선형 회귀 함수를 사용하여 개발하였으며, 햄 주먹밥에서 *S. aureus*의 LPD와 SGR은 polynomial model 식을 이용하여 저장 온도 변화에 따른 영향을 평가하였다.

Polynomial model equation

$$\ln(LT) = a^{(1)} + b^{(2)} \times T^{(3)} + c^{(4)} \times T^2$$

$$\ln(SGR) = a + b \times T + c \times T^2$$

¹⁾ a, ²⁾ b, ⁴⁾ c: constant
³⁾ T: temperature

6. 성장예측모델 검증

개발된 성장예측모델을 평가하기 위해 저장온도 20°C에서 추가로 실험을 진행하였으며, 결정 계수 (R^2 : coefficient of determination), 편향도 계수(B_f : bias

factor), 정확도 계수(A_f : accuracy factor) 및 평균제곱근 오차(MSE: mean square error)를 산출하였다(Lee 등 2015).

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum e_i^{(1)2}}{\sum (y_i^{(2)} - \bar{y}^{(3)})^2} \right)$$

¹⁾ e_i : error of predictive data
²⁾ y_i : the predictive data
³⁾ \bar{y} : the average of predictive data

$$B_f = 10^{\left\{ \frac{\sum \log\left(\frac{pred^{(1)}}{obs^{(2)}}\right)}{n^{(3)}} \right\}}$$

$$A_f = 10^{\left\{ \frac{\sum \log\left(\frac{pred}{obs}\right)}{n} \right\}}$$

$$MSE = \frac{\sum (obs - pred)^2}{n^3}$$

¹⁾ pred: the predicted value
²⁾ obs: the observed value
³⁾ n: repetition number of the observed data

Table 1. Input data for the hazard scenarios in FDA-iRISK 4.0.

Element of risk scenario	Input parameter, iRISK template	Model input	References	
Food	Rice ball			
Hazard	<i>S. aureus</i>			
Process model	Initial prevalence	0.079	Oh et al. (2007)	
	Initial unit mass	118.6 g	Shin et al. (2017)	
	Initial concentration	SHM ¹⁾ : Uniform ²⁾ (2.62, 2.63/1.00, 1.30/1.20, 1.30) log CFU SHS: Uniform (3.01, 3.18/1.30, 1.48/1.30, 1.69) log CFU SHG: Uniform (2.80, 2.99/1.85, 2.04/2.07, 2.10) log CFU		
	Process stage : storage, increase by growth	SHM: Uniform (3.99, 4.00/3.93, 4.10/7.00, 7.20) log CFU SHS: Uniform (7.64, 8.18/7.18, 7.26/7.64, 8.08) log CFU SHG: Uniform (8.20, 8.34/7.22, 7.40/8.20, 8.23) log CFU		
Consumption model	Grams per eating occasion	150 g	Korea Centers for Disease Control and Prevention (2018)	
	Eating occasions per year	23.99		
Dose-response model	Exponential	r=7.63E-8	Shibata & Solo-Gabriele (2012)	
Health effects	DALY template	4.7 daly per 100,000 inhabitants	Havelaar et al. (2012)	

¹⁾ SHM, SHS or SHG are a ham rice ball added with mayonnaise, soy sauce or *gochujang*
²⁾ Initial concentration input: minimum, maximum of 7°C/minimum, maximum of 15°C/minimum, maximum of 25°C

7. FDA-iRISK를 사용한 햄 주먹밥의 위해평가

소스 종류를 달리한 햄 주먹밥의 위해 정도를 비교하기 위해 FDA-iRISK 4.0(FDA CFSAN, Maryland, USA)을 사용하였으며, Risk scenarios는 Table 1과 같이 공정모델, 섭취모델, 용량-반응모델 및 건강수준과 관련된 질병부담[e.g., losses in disability-adjusted life years(DALYs)] 등의 다양한 매개변수들로 구성하였다(Chen 등 2013). 햄 주먹밥에서의 *S. aureus*의 유병률에 대한 자료는 존재하지 않았기 때문에 유사한 식품인 김밥의 *S. aureus* 오염빈도 값인 0.079를 사용하였다(Oh 등 2007). 또한 햄 주먹밥의 초기 단위 질량에 대한 자료가 존재하지 않아 햄 주먹밥과 유사한 삼각김밥의 평균 1회 제공량인 118.6 g을 초기 단위 질량 값으로 입력하였고(Shin 등 2017), 초기 오염농도의 최소 및 최대 수준은 본 연구의 실험 데이터를 사용하였다. 공정단계에서는 본 연구에서 실시된 *S. aureus*의 성장예측모델 결과를 반영한 병원균의 성장으로 인한 수준(e.g., log CFU)증가를 나타내는 “성장에 의한 증가”를 선택하였다. 섭취모델에서 햄 주먹밥의 1회 섭취량과 연간 섭취빈도는 국민건강영양조사 결과에 의거하여 각각 150 g과 23.99번을 입력하였다(Korea Centers for Disease Control and Prevention 2018). 용량-반응모델은 exponential 모델을 사용하여 7.63E-08의 값을 입력하였다(Shibata & Solo-Gabriele 2012). 마지막으로 건강에 미치는 영

향(질병부담)을 나타내는 DALY 값은 Havelaar 등 (2012)의 식중독 병원균의 질병부담에 관한 연구 중 *S. aureus*가 생성하는 독소로 인해 발생한 인구 100,000명당 값인 4.7을 사용하였다.

8. 통계분석

실험 결과는 Minitab 16(Minitab Inc., State College PA, USA)을 이용하여 모델 간의 유의성을 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시한 후 P<0.05 수준에서 Tukey test로 검정하였다.

결 과

1. 햄 주먹밥에서의 *S. aureus* 성장

소스 종류를 달리한 햄 주먹밥에서 *S. aureus*의 성장 변화는 Fig. 1에 나타냈다. *S. aureus*는 저장기간이 길어지면서 모두 증식하였으며, 7°C에서 보관된 SHM은 88시간까지 3.00 log CFU/g 이하였다가 그 이후로 조금씩 증가해 277시간에는 4.00 log CFU/g, 277시간 이후로는 7 log CFU/g 정도까지 급격히 증가하였다. SHM을 15°C에서 보관한 경우에는 17시간까지 일정하고, 그 이후로 점차 증가하다 91시간 후부터 급격하게 증가하여 118시간에는 6.73 log CFU/g이었다. 25°C

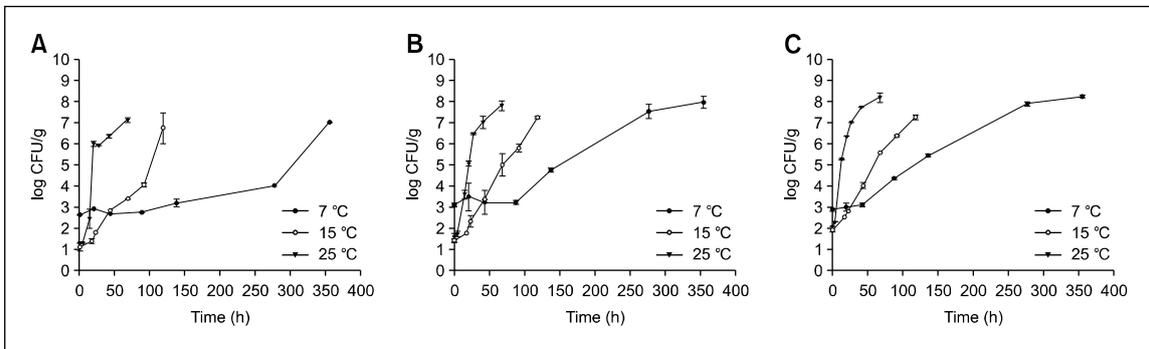


Figure 1. Growth of *S. aureus* in SHM (A), SHS (B), and SHG (C) during storage at different temperatures.

에서는 4시간까지 일정하다가 14시간 이후로 급격히 증가하여 20시간에 6.00 log CFU/g을 지나 68시간에 7.13 log CFU/g까지 증가하였다.

SHS의 경우 7°C에 보관했을 때 SHM과 동일하게 88시간까지 일정한 값을 유지하다가 88시간 이후로 점차 증가하여 137시간에 4.74 log CFU/g, 355시간에 7.97 log CFU/g이었다. 15°C에서는 17시간까지 일정하다가 그 이후로 급격히 증가해 68시간에 5.00 log CFU/g, 118시간에 7.23 log CFU/g이었고, 25°C에서는 4시간 이후로 급격히 증가해 15°C에서보다 짧은 20시간에 5.06 log CFU/g, 68시간에 7.80 log CFU/g이었다.

SHM, SHS와는 다르게 SHG는 빠른 시간에 균수가 증가하였으며, 동일한 온도, 시간에 균수를 측정했을 때 가장 높은 균수가 측정되었다. 7°C에서 보관한 SHG는 43시간 이후로 점차 증가해 137시간에 5.45 log CFU/g, 355시간에 8.26 log CFU/g까지 증가하였다. 15°C, 25°C에서는 SHS와 마찬가지로 각각 17시간, 4시간 이후로 급격히 증가하였다. 15°C의 68시간에 5.59 log CFU/g, 118시간에 7.28 log CFU/g으로 SHM, SHS보다 높았고, 25°C에서도 역시 SHM, SHS보다 더 짧은 시간인 14시간에서 5.30 log CFU/g였으며 68시간에는 8.22 log CFU/g까지 증가하였다.

2. 1차 성장예측모델 개발

Table 2는 다양한 온도(7°C, 15°C, 25°C)에서의 햄 주먹밥에 오염된 *S. aureus*의 성장결과를 Huang model을 이용하여 LPD와 SGR 등의 산출된 값을 나타내었다. 마요네즈 소스를 첨가한 SHM 햄 주먹밥에서 초기 균 수(y_0)의 예측값은 1.10~2.74 log CFU/g의 범위였고, 최대 성장 균 수(y_{max})는 25°C에서 6.47 log CFU/g으로 가장 높았다. SHS에서의 y_0 값은 1.41~3.27 log CFU/g, y_{max} 는 15°C에서 가장 컸다. SHG의 y_0 값의 범위는 1.91~2.96 log CFU/g으로 y_{max} 는 7°C에서 가장 컸다. SHM을 제외한 SHS, SHG에서 LPD는 저장온도가 높아질수록 짧았고, SHM의 경우 25°C의 값이 15°C의 LPD보다 길었다. SGR은 전체적으

Table 2. Growth parameters of *S. aureus* in rice balls calculated by the Huang model.

Sample	Temperature	Parameter	Value ¹⁾	L95CI ²⁾	U95CI ³⁾
SHM	7°C	y_0 ⁴⁾	2.74±0.04	2.65	2.83
		LPD ⁵⁾	87.74±11.15	63.83	111.64
		y_{max} ⁶⁾	4.31±0.358	3.54	5.08
		SGR ⁷⁾	0.01±0.01	0.00	0.02
	15°C	y_0	1.10±0.08	0.92	1.28
		LPD	10.90±2.26	6.06	15.74
		y_{max}	4.19±0.16	3.84	4.53
		SGR	0.06±0.01	0.04	0.07
	25°C	y_0	1.30±0.16	0.96	1.65
		LPD	12.43±0.51	11.36	13.51
		y_{max}	6.47±0.13	6.19	6.75
		SGR	0.75±0.11	0.50	0.99
SHS	7°C	y_0	3.27±0.12	3.02	3.53
		LPD	87.64±9.24	68.14	107.13
		y_{max}	7.96±0.23	7.48	8.46
		SGR	0.03±0.01	0.02	0.04
	15°C	y_0	1.41±0.15	1.09	1.72
		LPD	8.71±3.40	1.54	15.89
		y_{max}	8.18±0.66	6.80	9.56
		SGR	0.06±0.00	0.05	0.06
	25°C	y_0	1.64±0.12	1.40	1.89
		LPD	5.75±1.40	2.81	8.70
		y_{max}	7.46±0.12	7.20	7.72
		SGR	0.25±0.02	0.20	0.30
SHG	7°C	y_0	2.96±0.05	2.86	3.05
		LPD	34.86±2.99	28.55	41.17
		y_{max}	8.30±0.07	8.16	8.44
		SGR	0.03±0.00	0.02	0.03
	15°C	y_0	1.91±0.07	1.77	2.06
		LPD	7.19±1.53	3.96	10.41
		y_{max}	7.56±0.12	7.31	7.81
		SGR	0.06±0.00	0.06	0.06
	25°C	y_0	2.08±0.16	1.75	2.41
		LPD	2.35±0.90	0.45	4.25
		y_{max}	7.89±0.11	7.66	8.12
		SGR	0.25±0.01	0.22	0.28

1) Mean±standard error
 2) Lower 95% confidence intervals
 3) Upper 95% confidence intervals
 4) The initial bacterial counts
 5) Lag phase duration (h)
 6) The maximum bacterial counts
 7) Specific growth rate

Table 3. Growth parameters of *S. aureus* in rice balls calculated by the Baranyi model,

Sample	Temperature	Parameter	Value ¹⁾	L95CI ²⁾	U95CI ³⁾
SHM	7°C	y ₀ ⁴⁾	2.72±0.04	2.64	2.80
		h ₀ ⁵⁾	5.49		
		LPD ⁶⁾	137.33±0.00	137.32	137.33
		y _{max} ⁷⁾	4.01±0.07	3.86	4.16
		SGR ⁸⁾	0.04±0.00	0.04	0.05
	15°C	y ₀	0.99±0.08	0.83	1.16
		h ₀	0.70		
		LPD	12.55±0.00	12.55	12.55
		y _{max}	4.26±0.19	3.86	4.66
		SGR	0.06±0.00	0.05	0.06
	25°C	y ₀	1.30±0.16	0.97	1.63
		h ₀	10.57		
		LPD	12.98±0.69	12.30	13.65
		y _{max}	6.47±0.13	6.20	6.73
		SGR	0.81±0.02	0.76	0.86
SHS	7°C	y ₀	3.21±0.12	2.96	3.45
		h ₀	5.89		
		LPD	111.86±3.28	108.15	115.57
		y _{max}	7.76±0.16	7.43	8.09
		SGR	0.05±0.00	0.05	0.06
	15°C	y ₀	1.57±0.11	1.34	1.81
		h ₀	1.80		
		LPD	24.31±2.35	21.65	26.97
		y _{max}	7.38±0.27	6.81	7.95
		SGR	0.07±0.00	0.07	0.08
	25°C	y ₀	1.46±0.11	1.22	1.70
		h ₀	1.37		
		LPD	5.44±0.20	5.22	5.67
		y _{max}	7.46±0.12	7.22	7.71
		SGR	0.25±0.02	0.20	0.30
SHG	7°C	y ₀	2.81±0.05	2.70	2.93
		h ₀	1.31		
		LPD	45.04±1.55	43.28	46.79
		y _{max}	8.22±0.08	8.06	8.38
		SGR	0.03±0.00	0.03	0.03
	15°C	y ₀	1.84±0.05	1.74	1.95
		h ₀	0.54		
		LPD	8.51±0.14	8.36	8.66
		y _{max}	7.52±0.11	7.29	7.76
		SGR	0.06±0.00	0.06	0.07

Table 3. Continued.

Sample	Temperature	Parameter	Value	L95CI	U95CI
SHG	25°C	y ₀	1.94±0.13	1.66	2.21
		h ₀	0.47		
		LPD	1.81±0.03	1.78	1.84
		y _{max}	7.90±0.12	7.65	8.14
		SGR	0.25±0.01	0.23	0.27

- ¹⁾ Mean±standard error
- ²⁾ Lower 95% confidence intervals
- ³⁾ Upper 95% confidence intervals
- ⁴⁾ The initial bacterial counts
- ⁵⁾ The physiological state of the microorganism under consideration
- ⁶⁾ Lag phase duration (h)
- ⁷⁾ The maximum bacterial counts
- ⁸⁾ Specific growth rate

로 저장온도가 높을수록 높은 값을 나타냈다.

또한 Baranyi model을 이용하여 성장곡선을 분석하였으며, 각 온도에서의 h₀ 값은 상이하였다(Table 3). h₀ 값은 0.47~10.57로 SHS, SHG에서 배양 온도가 증가함에 따라 감소했다. SHM에서는 7°C에서 15°C로 증가할 때에는 h₀ 값이 감소했지만, 25°C로 증가할 때에는 h₀ 값이 증가했다. Baranyi model을 사용하여 다양한 온도에서 예측된 SGR 값은 Huang model을 이용하여 구한 결과와 동일하게 저장온도가 높아질수록 SGR은 높은 값을 나타냈다. Baranyi model에서 LPD의 값은 h₀을 SGR로 나누어 구하였으며, SHS와 SHG의 25°C에 해당하는 값을 제외한 나머지 값들은 Huang model에서 예측된 값보다 높았다. 두 모델에서 SHS, SHG의 LPD는 저장온도가 높아질수록 짧았고, SHM의 경우 25°C의 LPD 값이 15°C의 LPD 값보다 Huang model, Baranyi model에서 각각 1.53h, 0.43h 정도 길었다.

3. 2차 성장예측모델 개발

햄 주먹밥에서의 *S. aureus*의 성장에 대한 온도의 영향을 평가하기 위해 polynomial model 식을 사용하여 LPD와 SGR을 산출하였다. Fig. 2의 A, C, E는 온도에 따른 LPD 값의 변화를 나타내었으며 SHM을 제

위한 SHS, SHG에서는 저장온도가 증가함에 따라 LPD 값이 감소하였다. LPD의 감소 정도는 SHS, SHG에서 Baranyi model이 Huang model보다 컸다. Fig. 2의

B, D, F는 각각의 햄 주먹밥에서 *S. aureus*의 SGR의 온도에 따른 변화를 나타내었으며, SGR은 저장온도가 증가함에 따라 증가하였다. 세 종류의 햄 주먹밥

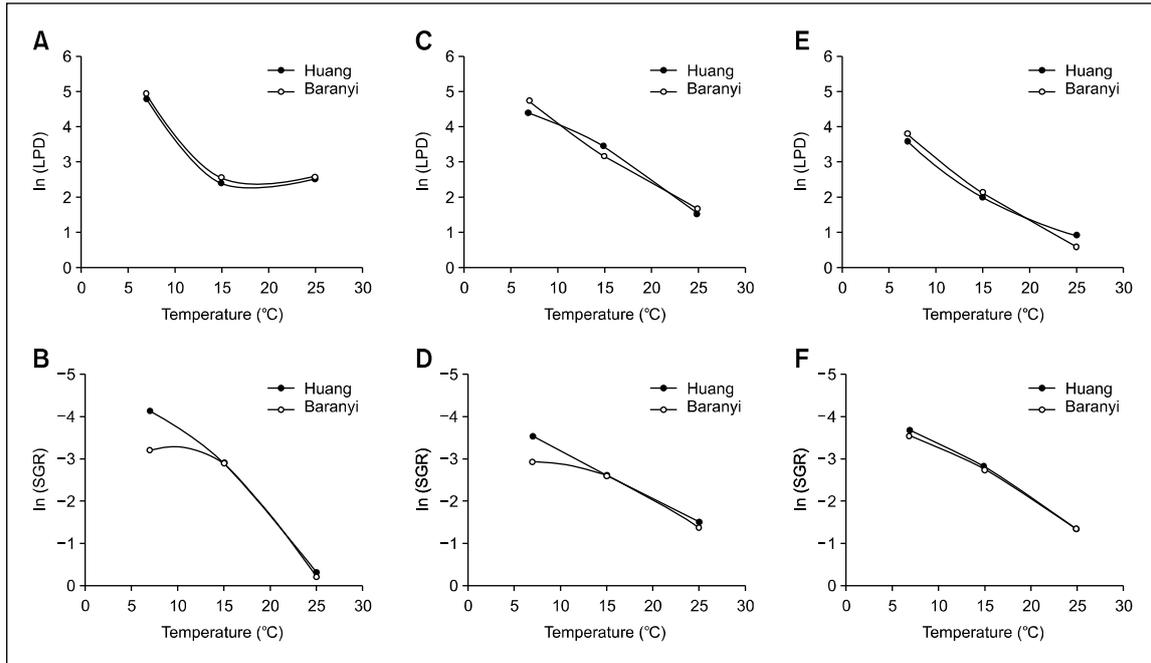


Figure 2. Secondary models of *S. aureus* in rice balls mixed with mayonnaise (A), (B), soy sauce (C), (D), or gochujang (E), (F).

Table 4. Evaluation of the primary models developed for the growth of *S. aureus* in rice balls.

Sample	Temperature (°C)	Huang ¹⁾					Baranyi				
		R ² 2)	B _f ³⁾	A _f ⁴⁾	MSE ⁵⁾	RMSE ⁶⁾	R ²	B _f	A _f	MSE	RMSE
SHM	7	0.9506	1.0005	1.0282	0.0113	0.1061	0.9458	1.0011	1.0312	0.0124	0.1112
	15	0.9867	1.0044	1.0558	0.0156	0.1250	0.9796	1.0013	1.0656	0.0241	0.1551
	25	0.9767	1.0034	1.0502	0.1305	0.3613	0.9767	1.0028	1.0504	0.1305	0.3613
SHS	7	0.9714	1.0028	1.0447	0.0525	0.1975	0.9674	1.0017	1.0491	0.0557	0.2092
	15	0.9734	1.0037	1.0601	0.1052	0.3244	0.9979	1.0042	1.0631	0.1248	0.3532
	25	0.9874	1.0044	1.0503	0.0534	0.2311	0.9971	1.0106	1.0769	0.0836	0.2892
SHG	7	0.9881	1.0022	1.0476	0.0654	0.2557	0.9888	1.0009	1.0505	0.0667	0.2583
	15	0.9829	1.0034	1.0526	0.0747	0.2704	0.9946	1.0052	1.0635	0.0917	0.3002
	25	0.9684	1.0011	1.0203	0.0097	0.0984	0.9956	1.0008	1.0310	0.0198	0.1408

¹⁾ All data between Huang and Baranyi models were not significantly different at P=0.05

²⁾ Coefficient of determination

³⁾ Bias factor

⁴⁾ Accuracy factor

⁵⁾ Mean square error

⁶⁾ Root mean square error

중에서 특히 SHM의 SGR이 급격하게 증가하였으며, 세 종류의 햄 주먹밥 모두 전반적으로 Huang model의 SGR이 Baranyi model의 결과 값보다 가파르게 증가하였다. 또한 15°C, 25°C의 SGR 값에 있어 Huang, Baranyi model간에 차이는 없었으나, 7°C에서는 모델간의 차이가 있었다.

4. 성장예측모델의 검증

*S. aureus*의 성장에 대한 1차 성장예측모델의 적합성 평가결과는 Table 4와 같다. Huang model과 Baranyi model의 R² 값은 0.9458~0.9979였다. B_r와 A_r 값은 두 모델에서 모두 1에 가까웠으며, MSE와 RMSE 값 역

시 두 모델에서 모두 0에 가까운 값이 나타났다.

개발된 2차 성장예측모델의 적합성을 확인하기 위해 성장예측모델 개발에 사용되지 않은 20°C에서 추가 실험을 진행하여 적합성을 평가하였다. 각 보관 온도에서 *S. aureus*의 관찰된 값과 개발된 1, 2차 성장예측모델을 통해 예측한 값을 이용하여 RMSE 값을 산출한 결과는 Table 5와 같다. SHM의 경우 RMSE 값이 2.03으로 높게 산출되었지만, SHS와 SHG의 RMSE 값이 각 0.40, 0.19로 0에 근접하게 나타났다.

5. FDA-iRISK 위해평가

FDA-iRISK를 이용하여 소스 종류가 다른 햄 주

Table 5. Developments and validation of secondary models to predict the growth of *S. aureus* in rice balls by Baranyi model.

Sample	Equation	R ² ¹⁾	MSE ²⁾	RMSE ³⁾
SHM	LPD ⁴⁾ =337.725943-34.710461×T+0.86882207×T ²	0.9999	4.12	2.03
	SGR ⁵⁾ =0.4578125-0.088475×T+0.0041125×T ²	0.9929		
SHS	LPD=241.30688-22.014768×T+0.5032098×T ²	0.9983	0.16	0.40
	SGR=0.1211597-0.0156148×T+0.0008329×T ²	0.9959		
SHG	LPD=99.721421-9.3272539×T+0.21643002×T ²	0.9985	0.04	0.19
	SGR=0.08801389-0.0143481×T+0.00084537×T ²	0.9996		

¹⁾ All data between Huang and Baranyi models were significantly different at P=0.05

²⁾ Mean square error

³⁾ Root mean square error

⁴⁾ Lag phase duration

⁵⁾ Maximum specific growth rate

Table 6. Results of FDA-iRISK for *S. aureus* in ham rice balls with different sauces.

Sample	Temperature (°C)	Mean Dose (CFU) ¹⁾	Number of illnesses per year	Mean risk of illness	Total DALY per year	DALYs per eating occasions or consumers
SHM	7	3.25E+08	3.64	0.15	17.10	0.71
	15	1.17E+07	1.92	0.08	9.02	0.38
	25	1.77E+10	3.64	0.15	17.10	0.71
SHS	7	7.81E+10	3.64	0.15	17.10	0.71
	15	3.20E+10	3.64	0.15	17.10	0.71
	25	7.80E+10	3.64	0.15	17.10	0.71
SHG	7	7.81E+10	3.64	0.15	17.10	0.71
	15	7.81E+10	3.64	0.15	17.10	0.71
	25	7.81E+10	3.64	0.15	17.10	0.71

¹⁾ Mean dose per contaminated serving

떡밥에 오염된 *S. aureus*에 대한 위해평가를 실시한 결과는 Table 6과 같다. 햄 주먹밥에 오염된 *S. aureus*로 인한 연간 질병 발생률(number of illnesses per year)은 SHM을 15°C에서 보관한 경우가 1.92로 이를 제외한 모든 군이 3.64였다. 평균 질병발생 위험(mean risk of illness)은 SHS와 SHG에 비해 15°C에 보관한 SHM이 0.08로 가장 낮은 것으로 나타났다. 연간 질병부담(total DALY per year) 값은 15°C에 보관한 SHM이 9.02, 나머지 햄 주먹밥은 17.10으로 햄 주먹밥 세 종류 중에서 마요네즈가 포함된 햄 주먹밥을 15°C에 보관했을 때, 이 질병에 의한 위험부담이 가장 적은 것으로 나타났다. 또한 1회 섭취 또는 1인 섭취당 질병부담(DALYs per eating occasions or consumers)은 SHM을 15°C에 보관했을 경우 0.38로 가장 낮았다.

고 찰

소스의 종류를 달리한 햄 주먹밥에서의 *S. aureus* 성장은 저장온도가 높아질수록 유도기가 짧았고, 균의 수가 급격하게 늘어났다. 이는 저장온도가 *S. aureus*의 최적온도인 35°C에 가까워지면서 균의 성장이 점차 빠르게 진행된 것임을 알 수 있다(Food and Drug Administration 2012). *S. aureus*는 해당 균수가 식품에서 5 log CFU/g 농도 이상일 경우 독소 생성이 가능하다고 보고되고 있다(Ramanathan 2010; Frye 등 2012). 7°C에서 보관된 SHM에서는 277시간이 지나고 균수가 급격히 증가하면서 독소 생성 가능성을 나타내었다. 동일한 온도에서 SHS는 137시간이 지난 후, SHG는 137시간 이전에 독소 생성이 가능하다. 25°C에서는 4시간이 지나면서 균 증식이 빨라져 SHM, SHS는 20시간 이내에, SHG는 14시간 이내에 5 log CFU/g을 넘어 7°C에서 보다 빠른 시간에 독소 생성 가능성을 나타냈다. 이러한 결과는 Son 등(2017)의 식육추출가공품 중 갈비탕에서의 *S. aureus* 성장예측모델 개발에 관한 연구에서 보관온

도 4°C, 10°C, 20°C에서 초기오염농도 약 3 log CFU/g인 경우 각 670시간, 348시간, 11시간 이후에 성장이 나타나기 시작한 결과에 비해서는 빠른 성장을 보여 다소 차이를 보였는데, 이는 식품의 조리방법과 식품의 구성 식재료에 따른 차이에 의한 것으로 보인다. 온도와 균의 증식 정도는 비례하여 나타났는데, 이러한 결과는 Park 등(2010)의 수육에서의 *S. aureus* 성장예측모델에 관한 연구결과와 유사하였다. 따라서 *S. aureus*의 적절한 보관온도 및 시간 관리를 통해 균의 증식 및 독소 생성이 되지 않게 관리하는 것이 바람직하다.

IPMP 2013에서 상하위 95% 신뢰구간으로 Huang과 Baranyi 예측모델을 적용하여 다양한 온도에서 햄 주먹밥의 *S. aureus* 성장패턴을 분석한 결과 Baranyi model을 사용하여 다양한 온도에서 예측된 LPD 값은 Huang model에 의해 예측된 값보다 대체로 높은 값을 나타냈다. 이는 Lee 등(2015)의 IPMP 2013을 사용하여 개발된 생 돼지고기에서의 *S. aureus*의 성장예측모델에 관한 연구결과와 유사하였다. Huang(2013)의 세균의 성장을 위한 새로운 수학적 모델의 최적화에 관한 연구에 따르면 Huang과 Baranyi model 모두 세균의 성장을 예측하는데 사용할 수 있으며, Baranyi model은 세균이 어떻게 새로운 환경에서 계속 성장하는지를 보여주는 반면, Huang model은 세균이 새로운 환경에 노출된 후 어떻게 적응하고 유도기에서 대수기로 넘어가는지 보여준다고 한다. Huang model은 특히 three phases (lag, exponential, and stationary)의 성장곡선에 적합하다고 보고된 바 있다(Huang 2013). 따라서 이전 환경의 영향과 중요한 물질의 축적이 세균 성장에 실제로 영향을 미친다면 Baranyi model이 더 적합할 수 있고, 세균의 새로운 환경에 대한 적응이 유도기 발달을 조절하는데 더 중요한 경우 Huang model이 적합할 수 있다.

S. aureus 성장에 대한 온도의 영향을 평가하기 위해 polynomial model 식을 사용하여 LPD와 SGR을 산출한 결과 SHM을 제외한 SHS, SHG에서는 저장

온도가 증가함에 따라 LPD 값이 감소하였고, SGR은 저장온도가 높아짐에 따라 증가하였다. Ding 등(2010)의 샌드위치에 있는 *S. aureus*의 성장에 대한 수학적 모델링에 관한 연구에서는 Gompertz model을 사용하여 LPD와 SGR을 산출하고, square root 식으로 온도에 대한 영향을 평가한 결과 온도가 증가할수록 LPD는 감소하고 SGR은 증가하여 본 연구결과와 유사하였다. Castillejo-Rodriguez 등(2002)의 육류제품의 *S. aureus*의 성장을 예측하기 위한 수학적 모델의 평가에 대한 연구에서는 가공된 햄, 칠면조 가슴살, 닭 가슴살에 *S. aureus*를 접종하여 오염시켜 10°C, 13.5°C, 17.7°C에서 생육을 관찰한 결과 온도와 SGR이 비례한 것으로 나타나 본 연구결과와 일치하였다. 또한 Kim 등(2017)의 시중 유통판매 중인 편육에서의 *S. aureus* 성장예측모델 개발에 관한 연구에서도 편육에 균을 오염시켜 4~37°C에서 저장하면서 Baranyi model을 이용하여 분석한 결과 LPD는 각 온도에서 212.81, 79.67, 3.12, 2.21 시간으로 온도에 반비례한 것으로 나타났고 SGR은 각 0.004, 0.009, 0.130, 0.568 log CFU/g/h로 온도에 비례하였다. 이를 통해 저장온도가 햄 주먹밥의 *S. aureus*의 성장에 유의한 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

예외적으로 SHM에서 15°C로 저장온도가 증가할 때에는 LPD가 감소하였으나, 15°C에서 25°C로 온도가 높아질 때 LPD가 증가하였다. 이는 마요네즈 소스가 *S. aureus* 성장에 영향을 끼친 것으로 보인다. 마요네즈에는 *S. aureus*의 증식과 enterotoxin 합성에 영향을 주는 몇 가지 요인이 있는데, 그중 lipoic acid의 지방분해활성은 *staphylococcal*의 성장에 독이 되고, enterotoxin의 생산을 저해 하는 것으로 보고되었다(Vadehra & Harmon 1965). 또한 lysozyme은 세포벽을 분해하는 효소로서 그람양성인 *S. aureus*의 세포벽을 용균시켜 *S. aureus*의 성장을 저해할 수 있다(Paul & Potter 1978, Gomez-Lucia 등 1987).

개발된 1차 성장예측모델에 대해 적합성 평가를 한 결과 Huang model과 Baranyi model간 유의적 차이는 없었으며, B_f 와 A_f 는 각 모델의 수행을 측정하

기 위한 정량적인 도구로 사용되었다. B_f 는 평균적으로 모델이 관찰된 데이터를 과도하게 예측(bias factor > 1) 했는지, 또는 예측이 부족(bias factor < 1) 했는지 정도를 나타내고, A_f 는 얼마나 많은 예측이 관찰된 데이터와 다른지를 나타낸다(Álvarez 등 2003). 각 주먹밥에서의 R^2 의 값을 비교해보면 Baranyi가 Huang model보다 더 적합한 것을 알 수 있다. Baranyi model로 1차 성장예측모델을 개발한 후 polynomial 식을 사용하여 LPD와 SGR에 대한 2차 성장예측모델을 개발하였다. 예측한 성장예측모델의 검증을 위해 20°C에서 추가 실험을 진행하여 MSE, RMSE로 적합성을 평가한 결과 SHS, SHG의 MSE, RMSE 값이 0에 근접하여 SHM을 제외한 SHS, SHG에서는 성장예측모델이 잘 개발되었음을 알 수 있었다. SHM의 경우 RMSE 값이 2.03으로 높게 나타났는데, 이는 저장온도가 높아질수록 LPD값이 감소하는 다른 군과는 달리 15°C에서 25°C로 온도가 증가할 때 LPD값도 증가한 결과 때문이라고 사료된다.

FDA-iRISK를 이용하여 소스 종류가 다른 햄 주먹밥을 각 7°C, 15°C, 25°C에 저장하면서 *S. aureus*에 대해 위해평가를 실시한 결과 SHS, SHG에서 DALY 값은 소스 종류 및 저장온도에 상관없이 모두 같은 값의 결과가 나왔다. DALY는 질병의 심각성과 지속시간에 대한 정보를 통합하여 질병, 사망 등으로 인해 건강한 삶을 잃어버린 기간을 의미하고(Min 등 2017), 평균 질병 발생 위험(mean risk of illnesses)은 연간 질병 발생률을 주먹밥 섭취 횟수로 나눈 값, 평균 질병 발생 위험은 주먹밥을 1회 섭취하였을 때 병이 걸릴 확률을 말하며, 1회 섭취 또는 1인 섭취 당 질병 부담(DALYs per eating occasions or consumers)은 DALYs 값을 주먹밥 섭취 횟수로 나눈 것이다. 평균 섭취량(mean dose, CFU)은 *S. aureus*에 의해 오염된 햄 주먹밥의 1회 제공량당 *S. aureus*의 오염 정도를 나타낸다. Hong 등(2016b)의 햄에 대한 *Campylobacter jejuni*의 생존 및 위해 비교에 관한 연구의 결과에 따르면 건조 햄을 각 4°C와 10°C에 보관한 경우 DALYs 값이 2.08×10^{-5} 와 2.01×10^{-5} 였으며 아질산나트륨

을 첨가한 등근 햄의 경우 각 3.29×10^{-4} 와 2.95×10^{-4} 로 보고되었다. 선행연구결과와 본 연구결과를 비교해보면 햄에 소스류가 첨가된 햄 주먹밥에서 *S. aureus*에 의한 DALY 값이 훨씬 더 높은 것을 알 수 있다. 이는 햄에서 *S. aureus* 의한 DALY 값이 *C. jejuni*에 비해 높고, 햄의 가공과정이 다르며, 주먹밥의 연간 섭취빈도와 1회 섭취량이 가공육제품에 비해 높기 때문이라고 생각된다. 또한 식품의약품안전평가원(National Institute of Food and Drug Safety Evaluation 2017; National Institute of Food and Drug Safety Evaluation 2018)에서 @RISK 프로그램을 이용하여 알 가열성형제품(구운·삶은계란), 건조저장육류에서의 *S. aureus* 위해평가결과 *S. aureus*에 의한 1인 1일 위해발생 가능성은 알 가열성형제품에서 1.47×10^{-4} , 양념하지 않은 건조저장육류는 최대 5.18×10^{-2} , 양념한 건조저장육류에서는 최대 5.20×10^{-8} 로 나타났다. 식품의약품안전평가원에서 발표한 자료의 결과와 본 연구의 평균 질병 발생 위험 값과 비교해보면 햄에 소스류가 첨가된 햄 주먹밥이 위해발생 가능성이 더 높다. 이러한 결과는 위해평가도구, 각 식품의 1회 섭취량 및 연간 섭취빈도, 가공과정 및 저장조건 등이 모두 다르기 때문인 것으로 사료된다.

요약 및 결론

본 연구에서는 식중독 및 식품사고의 사전예방을 위한 위해평가를 실시하기 위하여 소스 종류를 달리한 햄 주먹밥에서의 *S. aureus*의 성장예측모델을 개발하고, 개발된 성장예측모델의 적합성을 평가하여 위해평가를 실시하였다.

1. 1차 모델 개발은 Huang model, Baranyi model을 사용하여 7°C, 15°C, 25°C에서 햄 주먹밥에서의 *S. aureus* 성장패턴을 예측한 후, 적합성을 평가한 결과 R²의 최댓값은 Huang model에서 0.9881, Baranyi model에서는 0.9979로 Baranyi model이 더 적합하였다.

2. Baranyi model로 예측한 결과를 polynomial model 식을 이용하여 온도에 따른 *S. aureus*의 LPD, SGR에 관한 성장예측모델을 개발하고 검증한 결과 SHM, SHS, SHG에서 MSE 값은 각 4.12, 0.16, 0.04, RMSE 값은 각 2.03, 0.40, 0.19로 나타났다.
3. SHS, SHG의 MSE, RMSE 값은 비교적 0에 가깝게 나타나 성장예측모델의 적합성이 높았다.
4. FDA-iRISK를 이용하여 소스 종류를 달리한 햄 주먹밥의 보관온도에 따른 위해평가를 실시한 결과 SHM을 15°C에서 보관했을 때 질병부담 값은 인구 100,000명 당 9.02, 질병발생 위험 값은 0.08로 가장 적었으며, 이를 제외한 나머지 햄 주먹밥은 소스 종류 및 보관온도에 상관없이 인구 100,000명에 대한 질병부담 값은 17.10이었고, 질병발생 위험 값은 0.15였다.

결론적으로 햄 주먹밥에서 *S. aureus*의 오염에 의한 위해도가 높기 때문에 미생물에 의한 초기 오염 수준을 파악하고 가공, 유통 및 저장 단계에서의 적절한 온도관리 등 위해관리를 위한 지속적인 연구와 위해평가가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

ORCID

오수진: <http://orcid.org/0000-0002-9620-8994>

여성순: <http://orcid.org/0000-0002-5714-2937>

김미숙: <http://orcid.org/0000-0002-9091-8776>

REFERENCES

- Álvarez I, Virto R, Raso J, Condón S (2003): Comparing predicting models for the Escherichia coli inactivation by pulsed electric fields. *Innov Food Sci Emerg Technol* 4(2):195-202
- Baranyi J, Roberts TA (1995): Mathematics of predictive food microbiology. *Int J Food Microbiol* 26(2):199-218

- Castillejo-Rodriguez AM, Gimeno RM, Cosano GZ, Alcalá EB, Pérez MR (2002): Assessment of mathematical models for predicting *Staphylococcus aureus* growth in cooked meat products. *J Food Prot* 65(4):659-665
- Centers for Disease Control and Prevention (2018). National outbreak reporting system (NORS). Available from: <https://www.cdc.gov/norsdashboard/>. Accessed December 4, 2018
- Chen Y, Dennis SB, Hartnett E, Paoli G, Pouillot R, Ruthman T, Wilson M (2013): FDA-iRISK--a comparative risk assessment system for evaluating and ranking food-hazard pairs: case studies on microbial hazards. *J Food Prot* 76(3):376-385
- Cho JI, Lee SH, Choi JH, Choi EJ, Hwang IG (2011): Analysis of prevalence and survival pattern of *Staphylococcus aureus* from dried seasoned fishes. *J Food Hyg Saf* 26(4):366-369
- Ding T, Shim YH, Choi NJ, Ha SD, Chung MS, Hwang IG, Oh DH (2010): Mathematical modeling on the growth of *Staphylococcus aureus* in sandwich. *Food Sci Biotechnol* 19(3):763-768
- Doyle MP (1989): *Foodborne bacterial pathogens*. Marcel Dekker Inc. New York. pp.463-523
- Food and Drug Administration (2012): *Bad bug book, foodborne pathogenic microorganisms and natural toxins handbook*. Second Edition. Food and Drug Administration. Maryland. pp.87-91. Available from: <https://www.fda.gov/food/foodborneillnesscontaminants/causesofillnessbadbugbook>. Accessed July 24, 2018
- Frye AM, Baker CA, Rustvold DL, Heath KA, Hunt J, Leggett JE, Oethinger M (2012): Clinical impact of a real-time PCR assay for rapid identification of staphylococcal bacteremia. *J Clin Microbiol* 50(1):127-133
- Gomez-Lucia E, Goyache J, Blanco JL, Garayzabal JFF, Orden JA, Suarez G (1987): Growth of *Staphylococcus aureus* and enterotoxin production in homemade mayonnaise prepared with different pH values. *J Food Prot* 50(10):872-875
- Havelaar AH, Haagsma JA, Mangen MJ, Kemmeren JM, Verhoef LP, Vijgen SM, Wilson M, Friesema IH, Kortbeek LM, van Duynhoven YT, van Pelt W (2012): Disease burden of foodborne pathogens in the Netherlands, 2009. *Int J Food Microbiol* 156(3):231-238
- Hong SH, Kim HS, Yoon KS (2016b): Survival and risk comparison of *Campylobacter jejuni* on various processed meat products. *Int J Environ Res Public Health* 13(6):580-595
- Hong YK, Huang L, Yoon WB (2016a): Mathematical modeling and growth kinetics of *Clostridium sporogenes* in cooked beef. *Food Control* 60:471-477
- Huang L (2013): Optimization of a new mathematical model for bacterial growth. *Food Control* 32(1):283-288
- IPMP 2013. United States department of agriculture (USDA). Available from: <http://www.ars.usda.gov/Services/Docs.htm?docid=23355>. Accessed July 24, 2018
- Kim AN, Cho JI, Son NR, Choi WS, Yoon SH, Suh SH, Kwak HS, Joo IS (2017): Development of a predictive model describing the growth of *Staphylococcus aureus* in Pyeonyuk marketed. *J Food Hyg Saf* 32(3):206-210
- Kim YA, Lee BC, Youn HW (2015): A study on single people satisfaction of convenience foods and repurchase intention according to food-related lifestyle. *J Tour Leis Res* 27(1):433-452
- Korea Centers for Disease Control and Prevention (2018): *Korea Health Statistics 2016: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES VII-1)*. Cheongju KCDC; 2016
- Lee HM, Lee GY, Yoon EK, Kim HJ, Kang YS, Lee DH, Park JS, Lee SH, Woo GJ, Kang YS, Yang JS, Yang KH (2004): Computation of maximum edible time using monitoring data of *Staphylococcus aureus* in Kimbap and food micromodel. *J Food Hyg Saf* 19(1):49-54
- Lee YJ, Jung BS, Kim KT, Paik HD (2015): Predictive model for the growth kinetics of *Staphylococcus aureus* in raw pork developed using Integrated Pathogen Modeling Program (IPMP) 2013. *Meat Sci* 107:20-25
- Min JH, Nam GW, Yoon KS (2017): Effect of sanitization on risk reduction of *Staphylococcus aureus* and pathogenic *Escherichia coli* on leaf and stem vegetables. *Korean Soc Food Cook Sci* 33(6):708-712
- Ministry of Food and Drug Safety (2015): Risk assessment of *Staphylococcus aureus* in gimbap. Ministry of Food and Drug Safety. Cheongju. pp.4-12
- Ministry of Food and Drug Safety (2018). Statistics of foodborne disease. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/healthyfoodlife/foodPoisoningStat.do?menu_no=3724&menu_grp=MENU_NEW02&menu_no=3724&menu_grp=MENU_NEW02. Accessed December 4, 2018
- National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2017):

- Risk assessment of *Staphylococcus aureus* and *Clostridium perfringens* in processed egg products. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. Cheongju. pp.42-43
- National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (2018): Risk assessment of *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens* and *Campylobacter* in dry stored meats. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. Cheongju. pp.41-44
- Oh SK, Lee N, Cho YS, Shin DB, Choi SY, Koo M (2007): Occurrence of toxigenic *Staphylococcus aureus* in ready-to-eat food in Korea. *J Food Prot* 70(5):1153-1158
- Park HS, Bahk GJ, Park KH, Pak JY, Ryu K (2010): Predictive model for growth of *Staphylococcus aureus* in *Suyuk*. *Korean Soc Food Sci Ani Resour* 30(3):487-494
- Paul ME, Potter NN (1978): Bacterial growth in whole egg and egg substitutes including inoculation with *Staphylococcus aureus* and *Clostridium perfringens*. *J. Food Sci.* 43(3):803-806
- Ramanathan H (2010): *Food poisoning: a threat to humans*. Marsland Press. PO Box 180432, Richmond Hill, New York 11418, USA. pp.34-35
- Shibata T, Solo-Gabriele HM (2012): Quantitative microbial risk assessment of human illness from exposure to marine beach sand. *Environ Sci Technol* 46(5):2799-2805
- Shin GN, Kim YR, Kim MH (2017): Nutritional evaluation of convenience meals in convenience stores near the universities. *Korean Soc Community Nutr* 22(5):375-386
- Son NR, Kim AN, Choi WS, Yoon SH, Suh SH, Joo IS, Kim SH, Kwak HS, Cho JI (2017): Development of a predictive model describing the growth of *Staphylococcus aureus* in processed meat product *galbitang*. *Korean Soc Food Sci Technol* 49(3):274-278
- Stevenypark (2011). Food toxemia - non-inflammatory diarrhea (57). Available from: <http://quizlet.com/7078170/food-toxemia-non-inflammatory-diarrhea-57-flash-cards>. Accessed July 30, 2018
- Vadehra DV, Harmon LG (1965): Action of lipases of *Staphylococcus aureus* on milk fat. *Appl Microbiol* 13(3): 335-339