



## Original Article

즉석섭취 샌드위치에서의 *Staphylococcus aureus* 성장예측모델 개발박해정  · 배현주\*   
대구대학교 식품영양학과Development of a Predictive Model Describing the Growth of *Staphylococcus aureus* in Ready-to-Eat Sandwiches

Hae-Jung Park, Hyun-Joo Bae\*

Department of Food and Nutrition, Daegu University

**Abstract:** This study was performed to provide fundamental data on hygiene and quality control of ready-to-eat sandwiches. Predictive models were developed to the kinetics of *Staphylococcus aureus* growth in these sandwiches as a function of temperature (10, 15, 25, and 35°C). The result of the primary model that used the Gompertz equation showed that the lag phase duration (LPD) and generation time (GT) decreased and the exponential growth rate (EGR) increased with increasing storage temperature. The secondary model showed an  $R^2$  for M and B of 0.9967 and 0.9916, respectively. A predictive growth model of the growth degree as a function of temperature was developed.  $L(t)=A+Cexp(-exp(-B(t-M)))$  (A=Initial contamination level, C=MPD-A,  $B=0.473166-0.045040*Temp-0.001718*Temp*Temp$ ,  $M=19.924824-0.627442*Temp-0.004493*Temp*Temp$ , t=time, Temp=temperature). This model showed an  $R^2$  value of 0.9288. All the models developed in this study showed a good fit.

**Key words:** *Staphylococcus aureus*, predictive model, sandwich, temperature, time

## I. 서 론

최근 맞벌이 부부의 증가, 1·2인 가구의 증가, 고령화 등으로 인한 사회·경제구조의 변화로 인해 식품소비패턴의 다양화와 편리성 추구 성향이 증가하면서 가정대체식(Home Meal Replacement, HMR)에 대한 수요가 더욱 증가하고 있다. 월평균 HMR 구입 지출액 조사 결과(KOSIS 2021)에 의하면 2018년 대비 2019년에는 38.8%, 2020년에는 70.8%로 매년 HMR 구입 지출액이 급속하게 증가하고 있는 실정이다.

코로나19로 인해 직장인의 재택근무와 학생들의 재택수업이 증가하여 집에서 생활하는 시간이 길어진 것도 HMR의

소비가 촉진된 원인이라고 할 수 있다. HMR 중 샌드위치 등이 포함되어 있는 즉석섭취식품류(Ready-to-eat food, RTE)의 판매 비중이 특히 높으며, 편의점에서 주로 아침식사 대용으로 구매하는 샌드위치류의 매출은 2020년 대비 2021년에는 56%가 증가하였다(Choi 2021; Kwon 2021).

향후 소비량이 더욱 증가할 것으로 예상되는 샌드위치류는 제조 시 채소류와 샐러드 같은 비가열 식품을 주원료로 이용하므로 식재료의 위생 상태에 따라 식중독 원인균이 유입되거나 존재할 가능성이 높다. 즉석섭취식품류는 제품의 다양성과 편리함에도 불구하고 제조과정 중 비가열 원료의 부적절한 세척에 의한 위해 미생물 잔존의 위험성과 조리한 재료의 재오염 가능성이 크다(Solberg et al. 1990).

이에 즉석섭취식품류 등 국민 다소비 식품의 미생물학적 안전성 확보를 위해서 특정 환경조건 하에서 미생물의 성장과 사멸 등을 수학적으로 기술하여 변동 상태를 예측하는 예측 미생물학 분야 연구의 중요성이 강조되고 있다(Yoon 2010; Cho et al. 2011). 예측 미생물학 분야에서 연구되는

\*Corresponding author: Hyun-Joo Bae, Department of Food and Nutrition, Daegu University, 201 Daegudae-ro, Gyeongsan 38453, Korea  
Tel: +82-53-850-6830, Fax: +82-53-850-6839  
E-mail: bhj@daegu.ac.kr

Received December 8, 2021; accepted December 16, 2021

정량적 위해평가 모델은 식품산업에서의 HACCP 적용 시 객관적이면서 신속하게 어떤 특정 식품에 대한 위해의 정도를 추정할 수 있게 해준다(Panisello & Quantick 1998; Karl & Da-Wen 1999).

따라서 본 연구는 샌드위치류에서 검출률이 높다고 보고된 황색포도상구균의 성장을 예측할 수 있는 수학적 모델을 개발하여 식품의 안전성 확보를 위한 정량적 미생물 위해 평가의 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

## II. 연구 내용 및 방법

### 1. 시험 균주 및 균액의 제조

본 실험에 사용한 균주는 Gram 양성균인 *Staphylococcus aureus* (KCTC 1621)로 생명공학 연구소의 유전자은행 (Korean Collection for Type Culture: KCTC)으로부터 분양 받았다. Kim(2004)의 방법을 통하여 동결 보존된 분리균주를 순수 분리하여 확인 후 백금이로 집락을 1~2개 정도 때

Table 1. Ingredient composition for one serving of sample

| Raw materials | One serving (g) | Reference                          |
|---------------|-----------------|------------------------------------|
| Bread         | 70              | 2 slice                            |
| Potato        | 50              | Crushing after boiling             |
| Egg           | 25              | Half of one                        |
| Ham           | 20              | Use of chopping at 0.5 cm          |
| Cucumber      | 20              | Use of chopping at 0.5 cm          |
| Pickles       | 20              | Use of chopping at 0.5 cm          |
| Lettuce       | 10              | Use of chopping at 0.5 cm          |
| Cabbage       | 10              | Use of chopping at 0.5 cm          |
| Carrot        | 10              | Chopping after boiling             |
| Onion         | 10              | Panbroiling after chopping         |
| Mayonnaise    | 10              | Bread spread 5 g, sauce 5 g        |
| Mustard       | 10              | Use of mixed within mayonnaise 5 g |

서 25 mL의 TSB에서 35°C, 24시간 동안 배양하여 활성화시켰다.

### 2. 시료 제조 및 균액 접종

각 저장 온도에서의 황색포도상구균의 접종실험을 실시하였다. 실험 시료는 <Table 1>의 재료로 제조한 샌드위치를 이용하였다. 최종적으로 접종하고자 하는  $1.0 \times 10^3$  CFU/g을 맞추기 위해 원액을 희석한 후 이것을 100  $\mu$ L로만 각 시료 10 g에 골고루 뿌리면서 접종하였다.

### 3. 균의 성장 측정

샌드위치류의 가공 및 유통 가능 온도를 고려하여 실험 설정온도는 10, 15, 25, 35°C에서 보관하면서 샌드위치에 황색포도상구균을 접종한 직후부터 2, 4, 6, 12, 24, 48, 120시간 까지 각각의 시간대별 성장하는 균을 3회 반복하여 측정하였다. 시간 간격을 두고 꺼낸 시료 10 g에 0.85% 멸균 NaCl 용액 90 mL를 가한 후 균질화시켰다. 균질화된 검체를 단계별 희석하여 선택배지인 Baird Parker Agar (BioMerieux, Marcy l'Etoile, France)에 도말하여, 37°C에서 48시간 배양 후 전형적인 집락을 계수하였다. 최종 성장실험 결과는 SAS package (ver. 8.2)의 일원배치 분산분석을 통하여 유의성 검증을 실시하였다.

### 4. 성장예측모델 개발 및 적합성 평가

균의 성장 형태를 표현하기 위해 Gompertz equation <Table 2>을 사용하였다. 반복 실험을 통해서 얻은 실험 결과값을 Sigma Plot 9.0 (SPSS Inc., 2000)의 비선형회귀분석(non-linear regression)을 활용하여 Gompertz equation의 변수인 A, C, B, M을 산출하였다. 이를 이용하여 대수성장률(exponential growth rate: EGR, log CFU/g/hr), 세대시간(generation time: GT, hr), 잠복기간(lag phase duration: LPD, hr), 최대균수(maximum population density: MPD, log CFU/g/hr)를 계산하였다.

Table 2. Equations for Gompertz function and derived growth kinetics values

| Gompertz's function   |
|---|
| $L(t) = A + c \cdot \exp(-\exp(-B(t-M)))$   |
| L(t)=Log count of bacteria at time (in hours)t [Log(cfu/g)]   |
| A=Asymptotic log count of bacteria as time decreases indefinitely (i.e., initial level of bacteria [Log(cfu/g)])        |
| C=Asymptotic amount of growth that occurs as t increase indefinitely(i.e., number of log cycles of growth [Log(cfu/g)]) |
| M=Time at which the absolute growth rate is maximal [hr]  |
| B=Relative growth rate at M [Log(cfu/g)hr]  |
| Derived Growth Kinetics Equations:  |
| Exponential growth rate (EGR)=BC/e [Log(cfu/g)]   |
| Generation time (GT)=Log(2) e/BC [hr]   |
| Lag phase duration (LPD)=M-(1/B) [hr]   |
| Maximum population density (MPD)=A+C  |

Table 3. The growth of *Staphylococcus aureus* on inoculated potato-salad sandwiches during storage at different temperature

| Time(hr) | Temperature (°C)         |                         |                         |                         |
|----------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|          | 10                       | 15                      | 25                      | 35                      |
| 0        | 3.28±0.40 <sup>dl)</sup> | 3.28±0.40 <sup>f</sup>  | 3.28±0.40 <sup>d</sup>  | 3.28±0.40 <sup>e</sup>  |
| 2        | 3.29±0.35 <sup>d</sup>   | 3.52±0.35 <sup>ef</sup> | 3.60±0.01 <sup>d</sup>  | 3.35±0.16 <sup>de</sup> |
| 4        | 3.23±0.33 <sup>d</sup>   | 3.65±0.06 <sup>ef</sup> | 3.79±0.27 <sup>d</sup>  | 3.64±0.26 <sup>d</sup>  |
| 6        | 4.24±0.50 <sup>cd</sup>  | 4.29±0.54 <sup>de</sup> | 4.13±0.70 <sup>d</sup>  | 4.49±0.13 <sup>c</sup>  |
| 12       | 3.98±0.97 <sup>cd</sup>  | 4.79±0.35 <sup>d</sup>  | 5.19±0.28 <sup>c</sup>  | 6.22±0.05 <sup>b</sup>  |
| 24       | 4.69±0.26 <sup>bc</sup>  | 5.30±0.25 <sup>bc</sup> | 5.91±0.44 <sup>bc</sup> | 6.92±0.10 <sup>a</sup>  |
| 48       | 5.61±0.33 <sup>b</sup>   | 5.81±0.08 <sup>b</sup>  | 6.38±0.09 <sup>b</sup>  | -                       |
| 120      | 8.40±0.68 <sup>a</sup>   | 9.28±0.56 <sup>a</sup>  | 12.26±0.86 <sup>a</sup> | -                       |
| F-value  | 26.99***                 | 64.33***                | 89.25***                | 182.94***               |

<sup>l) a-f)</sup> Means in a row followed by different superscripts are significantly different. \*\*\*p<0.001

이에 대한 성장곡선은 Sigma Plot 9.0 을 이용하여 도식화 하였다. 또한 B, M의 경우는 SAS의 반응표면분석에서의 회귀방정식을 통해 온도와 시간에 따른 회귀방정식을 산출하였다. 이 회귀방정식을 Gompertz equation에 적용하여 온도와 시간에 따른 황색포도상구균의 성장균수를 산출하였다.

최종적으로 개발된 모델에 대한 검증은 배양 조건을 대입하여 실제 실험으로부터 구한 최대증식속도상수(k)와 모델식으로부터 구한 최대증식속도상수(k)와의 상관관계를 비교하였다(Moon et al. 2005).

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 온도별 *Staphylococcus aureus*의 성장패턴

샌드위치에서 황색포도상구균의 온도에 따른 성장 변화를 3회 반복 실험을 통하여 살펴본 결과는 <Table 3>과 같다. 샌드위치에 황색포도상구균을 접종한 직후의 초기 균수는 3.28 log CFU/g였다. 10°C에서는 접종 후 12시간, 15, 25°C에서는 6시간, 35°C에서는 4시간까지 급격한 증식 양상을 보이지 않았다. 그러나 그 이후에는 각각의 온도 범위별로 유의적인 증가 경향을 보였다(p<0.001).

황색포도상구균은 7~48°C 온도범위에서 성장 가능하고 10~48°C 범위에서 독소 생성이 가능하다. Tatini(1973)은 햄과 조리된 ground beef, bologna를 10°C에서 보관 시 enterotoxin이 생성되었다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 황색포도상구균의 성장예측모델 개발 시 10°C부터 실험을 실시하였다.

각각의 온도대별 시간에 따른 황색포도상구균의 성장곡선을 비선형 회귀식을 이용하여 도식화한 그래프는 <Figure 1>과 같다. 성장예측 곡선에서 설명력을 나타내는 R<sup>2</sup>의 값이 모두 0.99 이상으로 높은 설명력을 나타내었다. 성장예측곡선에서 샌드위치류에서 황색포도상구균의 독소가 생성되는

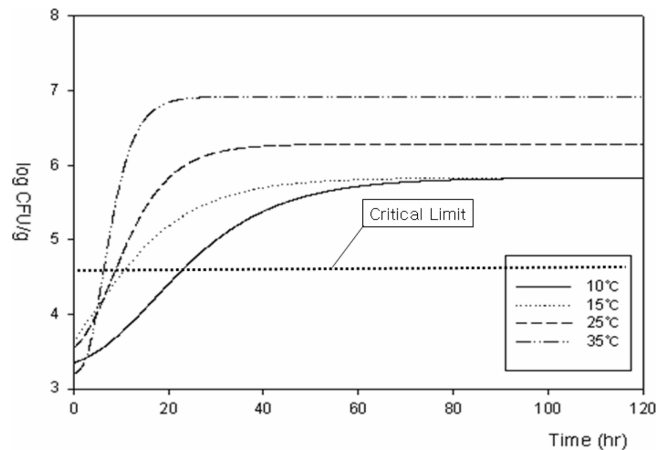


Figure 1. Predictive growth curve of *Staphylococcus aureus* in potato-salad sandwiches during storage at different temperature.

시점인 4.5 log CFU/g에 도달하는 시간을 살펴보면, 10°C에서 22시간, 15°C에서 10시간, 25°C에서 9시간, 35°C에서는 6시간이었다.

Lee et al.(2004)이 황색포도상구균의 모니터링 자료를 이용하여 김밥의 최대섭취유효시간을 산정한 연구에서 식중독 발생이 99% 안전한 온도대별 최대섭취유효시간을 여름철 분식점으로부터 구매한 김밥은 30°C에서 방치 할 때 1.9시간, 15°C에서 방치할 때 17.7시간으로 산정하였는데, 본 실험의 시료로 사용한 감자 샐러드 샌드위치는 HACCP 방식으로 위생적으로 제조한 직후부터 실온 보관할 경우에는 여름철에는 6시간 이내, 봄·가을철에는 10시간 이내에 섭취하는 것이 적절하다고 판단된다. 샌드위치를 10°C 이하의 냉장 온도로 관리하면서 판매할 때에는 샌드위치 제조 완료 후 22시간까지는 황색포도상구균에 의한 문제는 발생되지 않을 것으로 사료된다.

Table 4. Effect of initial number of *Staphylococcus aureus* at different temperatures on growth kinetics of potato-salad sandwiches

| Temperatures (°C) | Gompertz value          |               |                  |            | LPD (hr)  | EGR (log CFU/g/hr) | GT (hr)    | MPD (log CFU/g) |
|-------------------|-------------------------|---------------|------------------|------------|-----------|--------------------|------------|-----------------|
|                   | A (log CFU/g)           | C (log CFU/g) | B (log CFU/g/hr) | M (hr)     |           |                    |            |                 |
| 10                | 3.26±0.06 <sup>1)</sup> | 2.57±0.11     | 0.18±0.01        | 13.91±1.23 | 8.52±1.00 | 0.17±0.00          | 11.38±1.00 | 5.84±0.06       |
| 15                | 2.80±0.29               | 3.03±0.29     | 0.26±0.03        | 11.88±0.34 | 7.92±0.34 | 0.29±0.06          | 9.72±0.28  | 5.83±0.01       |
| 25                | 3.44±0.35               | 2.84±0.37     | 0.42±0.03        | 6.81±0.70  | 4.40±0.72 | 0.44±0.08          | 5.57±0.57  | 6.29±0.04       |
| 35                | 3.19±0.04               | 3.73±0.07     | 1.06±0.05        | 3.54±0.6   | 2.59±0.21 | 1.45±0.06          | 2.89±0.21  | 6.92±0.07       |

<sup>1)</sup>Means±SD

2. *Staphylococcus aureus*의 성장예측모델 개발

미생물 성장예측모델 개발 시 국내·외에서 가장 널리 이용되는 Gompertz equation <Table 2>을 적용하여 EGR, GT, LPD, MPD를 산출한 결과는 <Table 4>과 같다. 각각의 온도에 따른 성장곡선 data는 fitting과정을 걸쳐 산출된 A, C, B, M의 값으로 나타내었다. LPD는 미생물이 새로운 환경에 적응하고 성장을 시작하기 위하여 주위환경에 적응하는 기간으로 볼 수 있다. 본 연구에서는 LPD는 10°C에서 가장 높은 8.52시간을 나타냈고, 온도가 증가할수록 점차 감소하는 경향을 보였다. GT도 LPD와 마찬가지로 온도조건이 높아질수록 그 값이 점점 감소하는 경향을 보였고, EGR는 반대로 온도가 높아질수록 점점 높아지는 경향을 나타냈다. 이와 같이 샌드위치류에서의 황색포도상구균 성장에 따른 저장온도별 GT, LPD, EGR의 변화 양상이 관련 연구(No 2001; Kim 2004; Moon et al. 2005)에서의 돈육에서의 리스테리아의 성장, 계맛살에서의 부패균의 성장, 미트볼에서의 황색포도상구균의 성장 경향과 유사한 결과를 보였다. 또한 이러한 결과는 세균의 LPD가 온도, pH, Aw, 보존료 등의 복합적인 환경 요인에 영향을 받으며, 특히 온도에 많은 영향을 받는 것으로 보고한 연구 결과(Zwietering et al. 1994; Bearanyi & Roberts 1995; Augustin & Vincent 2000)와 유사한 경향을 나타냈다. 온도와 LPD의 관계를 지수함수 형태로 나타낸 결과 LPD가 온도와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다<Figure 2>.

1차 모델을 기본으로 하여 미생물의 증식에 영향을 미치는 식품의 각종 환경요인을 모델화한 것이 2차 모델이다. 즉, 2 단계 모델의 환경요인으로는 온도, pH, 수분활성도, 염류농도 등이 있다. 이들 요인이 최대증식속도(k), 유도기, 최대균수 등에 미치는 영향을 수량화한 것이 환경요인 모델이다. 본 연구에서는 반응표면분석을 이용하여 2차 성장예측 모델을 개발하였다. 온도와 시간에 따른 B값과 M값에 대한 2차 모델을 작성한 결과는 <Table 5>와 같다. 모델의 적합성 (R<sup>2</sup>)은 M값의 경우 0.9967, B값의 경우는 0.9916으로 높은 설명력을 나타냈다.

이 반응식을 <Table 2>의 Gompertz equation에 적용시켜 특정시간에서 온도에 따른 황색포도상구균의 성장정도를 추

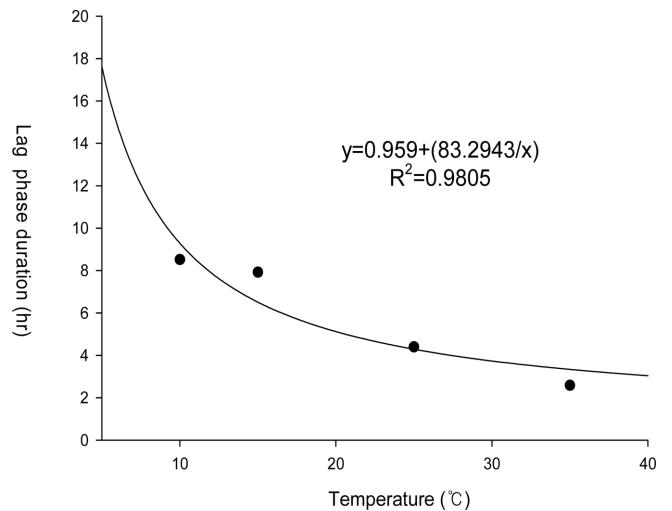


Figure 2. Effects of temperature number on lag phase duration of *Staphylococcus aureus* in potato-salad sandwiches.

정하기 위한 성장예측모델식을 개발한 것은 다음과 같다.

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

A=Initial contamination level, C=MPD-A,

B=0.473166-0.045040\*Temp-0.001718\*Temp\*Temp,

M=19.924824-0.627442\*Temp-0.004493\*Temp\*Temp,

t=time, Temp=temperature

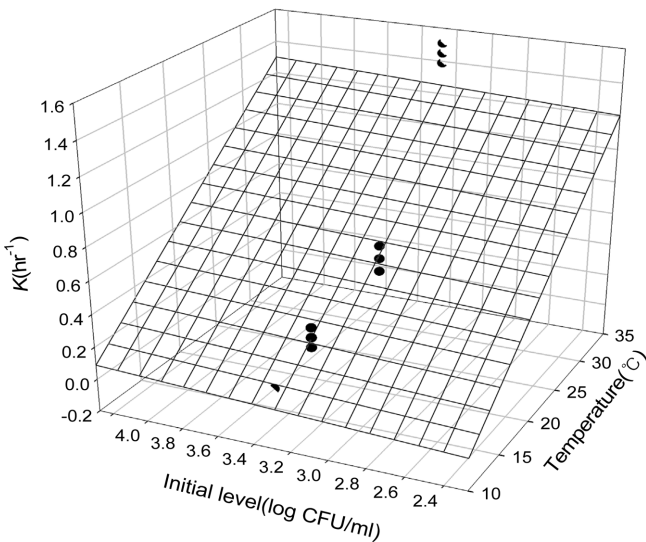
본 모델에서는 초기 오염균수를 실제 오염수준보다 높은 수준의 균량을 적용하였지만 이전의 성장예측모델과 관련한 연구 보고(Buchanan & Phillips 1990; Duffy et al. 1994; Moon et al. 2004; Hong et al. 2005)에서 초기 오염균수는 개발에 영향이 없는 것으로 보고되었고, PFM model에서도 초기균수는 LPD, GT에는 아무런 영향을 미치지 않으며 특정균수에 도달하는 시간에만 영향을 미치는 것으로 나타났다(Park 2001). 따라서 본 연구모델은 샌드위치류의 초기 오염균수에 관계없이 적용이 가능하다고 판단된다.

한편 본 연구에서는 성장예측모델의 실제 적용에 있어서



Table 5. Effects of temperature on the growth of *Staphylococcus aureus* in potato-salad sandwiches by response surface models

| M=19.924824-0.627442*Temp-0.004493*Temp*Temp |    |           |                |         |        | R <sup>2</sup> =0.9967 |
|--|----|-----------|----------------|---------|--------|------------------------|
| Parameter                                    | DF | Estimate  | Standard error | t value | Pr> t  |                        |
| Intercept                                    | 1  | 19.924824 | 1.621387       | 12.29   | 0.0517 |                        |
| Temp   | 1  | -0.627442 | 0.166419       | -3.77   | 0.1651 |                        |
| Temp*Temp                                    | 1  | 0.004493  | 0.003644       | 1.23    | 0.4338 |                        |
| B=0.473166-0.045040*Temp-0.001718*Temp*Temp  |    |           |                |         |        | R <sup>2</sup> =0.9916 |
| Parameter                                    | DF | Estimate  | Standard error | t value | Pr> t  |                        |
| Intercept                                    | 1  | 0.473166  | 0.209544       | 2.26    | 0.2654 |                        |
| Temp   | 1  | -0.045040 | 0.021508       | -2.09   | 0.2836 |                        |
| Temp*Temp                                    | 1  | 0.001718  | 0.000471       | 3.65    | 0.1704 |                        |

Figure 3. Comparison of experimental k and predictive k by the response surface model of *Staphylococcus aureus*.

●: experimental k, □: predictive k

미생물 성장관련 인자를 온도와 시간만으로 한정하였으므로 추후 관련 연구를 통해 샌드위치의 pH나 수분활성도 등을 추가적으로 고려한 예측모델 개발 연구도 필요하다고 생각된다.

성장예측 모델은 샌드위치 제조공정에 HACCP을 적용 시 중요관리점과 한계관리기준 설정에 활용할 수 있다(Buchanan 1993; Hass et al. 1999; Kim et al. 2003). 식품내의 어떤 병원성 미생물에 대한 위해성 평가에서도 활용 가능하며, 더 나아가 많은 시간과 노력, 비용이 드는 미생물 접종시험이나 저장시험을 대신하는 것으로도 유효하다(Park 2001). 또한 미생물의 위해성 평가 수행과정에서 노출평가를 위한 simulation model에 접목하면 생산에서 유통에 이르는 전 과정에서 온도와 시간의 조건별 황색포도상구균의 성장 가능성 추정이 가능하며, 이를 근거로 샌드위치 유통과정에서의

적정 위생관리 온도 및 시간설정에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

### 3. 성장예측모델의 적합성 평가

미생물 성장실험결과에 의해 개발된 모델은 기존의 문헌이나 새로운 실험결과들에 의해 그 적합성을 검증하여야 한다. 개발된 모델에 대한 검증방법은 두 가지로 나눌 수 있는데 그 하나는 특정한 조건에서의 미생물의 증식 값을 기존의 다른 모델과 비교하는 방법이고 다른 하나는 특정한 조건에서의 개발된 모델의 증식 값과 직접 실험에 의한 결과 값을 비교하는 방법이다(Hong et al. 2005).

본 연구에서는 개발된 모델에 대한 검증방법으로 최대증식속도상수(k)의 예측치와 실험치를 비교한 결과를 반응표면 분석으로 나타내었다(Figure 3). 이에서 보는 바와 같이 실험값과 예측값의 상관계수(r)는 0.9637, 모델의 적합성(R<sup>2</sup>)은 0.9288로 모델에 대한 신뢰성이 높은 것으로 판단되었다.

## IV. 요약 및 결론

향후 지속적으로 소비가 증가될 것으로 예상되는 샌드위치류에서의 황색포도상구균의 성장을 예측할 수 있는 정량적 모델을 개발하여 식품의 안전성 확보를 위한 정량적 미생물 위해평가의 기초자료로 활용하고자 수행한 연구결과에서 샌드위치류에서 황색포도상구균의 독소가 생성되는 시점인 4.5 log CFU/g에 도달하는 시간을 살펴보면, 10°C에서 22시간, 15°C에서 10시간, 25°C에서 9시간, 35°C에서는 6시간이었다. 미생물 성장예측모델인 Gompertz equation을 적용하여 EGR, GT, LPD, MPD를 산출한 결과, 본 연구에서는 LPD는 10°C에서 가장 높은 8.52시간을 나타냈고, 온도가 증가할수록 점차 감소하는 경향을 보였다. GT도 LPD와 마찬가지로 온도조건이 높아질수록 그 값이 점점 감소하는 경향을 보였고, EGR는 반대로 온도가 높아질수록 점점 높아지는 경향을 나타냈다. Gompertz equation에 적용시켜 특정시

간에서 온도에 따른 황색포도상구균의 성장정도를 추정하기 위한 성장예측 모델을 개발한 결과,  $L(t)=A+C \exp(-\exp(-B(t-M)))$  ( $A$ =Initial contamination level,  $C$ =MPD- $A$ ,  $B=0.473166-0.045040*Temp-0.001718*Temp*Temp$ ,  $M=19.924824-0.627442*Temp-0.004493*Temp*Temp$ ,  $t$ =time,  $Temp$ =temperature)의 추정식을 산출했다. 개발된 모델에 대한 검증방법으로 최대증식속도상수( $k$ )의 예측치와 실험치를 비교한 결과를 반응표면 분석한 결과 실험값과 예측값의 상관계수( $r$ )는 0.9637, 모델의 적합성( $R^2$ )은 0.9288로 모델에 대한 신뢰성이 높은 것으로 평가되었다.

성장예측 모델은 미생물의 위해성 평가 수행과정에서 노출평가를 위한 simulation model에 접목하면 생산에서 유통에 이르는 전 과정에서의 온도와 시간의 조건별 황색포도상구균의 성장 예측이 가능하므로 이를 근거로 샌드위치류 유통과정에서의 적정한 위생관리를 위한 온도와 시간관리의 기준 설정이 가능할 것으로 판단된다.

## 이해 관계의 글

No potential conflict of interest relevant this article was reported.

## References

- Augustin JC, Vincent C. 2000. Modelling the growth rate of *Listeria monocytogenes* with a multiplicative type model including interactions between environmental factors. *Int. J. Food Microbiol.*, 56(1):53-70.
- Bearanyi J, Roberts TA. 1995. A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *Int. Food Microbiol.*, 26(1995):199-218.
- Buchanan RL. 1993. Predictive food microbiology trends. *Food Sci. Technol.*, 4(1):6-11.
- Buchanan RL, Phillips JG. 1990. Response surface model for predicting the effects of temperature, pH, sodium chloride content, sodium nitrite concentration, and atmosphere on the growth of *Listeria monocytogenes*. *J. Food Prot.*, 53(5):370-376.
- Cho JL, Lee SH, Lim JS, Kwak HS, Hwang IG. 2011. Development of a predictive model describing the growth of *Listeria monocytogenes* in fresh cut vegetable. *J. Food Hyg. Saf.*, 26(1):25-30.
- Duffy G, Sheridan JJ, Buchanan RL, McDowell DA, Blair IS. 1994. The effect of aeration, initial inoculum and meat microflora on the growth kinetics of *Listeria monocytogenes* in selective enrichment broths. *Food Microbiol.*, 11(5):429-438.
- Hass NC, Rose JB, Gerba CP. 1999. Quantitative microbial risk assessment. John Wiley & Sons, Inc. NY, USA, p324-327.
- Hong CH, Sim WC, Chun SJ, Kim YS, Oh DH, Ha SD, Choi WS, Bahk GJ. 2005. Predictive growth model of native isolated *Listeria monocytogenes* on raw pork as a function of temperature and time. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 37(5):850-855.
- Karl M, Da-Wen S. 1999. Predictive food microbiology for the meat industry. *Int. J. Food Microbiol.*, 52(1-2):1-27.
- Kim DH, Song HP, Kim JK, Kim JO, Lee HJ, Byun MW. 2003. 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(7):991-996.
- Kim EJ. 2004. Analysis of microbiological hazards and quantitative microbial risk assessment of *Staphylococcus aureus* inoculated onto potentially hazardous foods in school foodservice operations. Master's degree thesis, Yonsei University, Korea, p103-141.
- Lee HM, Lee GY, Yoon YK, Kim HJ, Kang YS, Lee DH, Park JS, Lee SH, Woo GJ, Kang SH, Yang GH, Yang JS. 2004. Computation of maximum edible time using monitoring data of *Staphylococcus aureus* in *Kimbab* and food micro-model. *J. Food Hyg. Saf.*, 19(1):49-54.
- Moon SY, Chang TE, Woo GJ, Shin IS. 2004. Development of predictive growth model of *Vibrio parahaemolyticus* using mathematical quantitative model. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 36(2):349-354.
- Moon SY, Paek JM, Shin IS. 2005. Development of predictive growth model of imitation crab sticks putrefactive bacteria using mathematical quantitative assessment model. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 37(6):1012-1017.
- No MJ. 2001. Analysis of microbiological hazards and application of quantitative risk assessment in pork production. Doctoral's degree thesis, Yonsei University, Korea, p 61-68.
- Panisello PJ, Quantick PC. 1998. Application of food micro-model predictive software in the development of Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) systems. *J. Food Microbiol.*, 15(4):425-439.
- Park KJ. 2001. Application of quantitative risk assessment in sanitation management model for icecream processing. Doctoral's degree thesis, Seoul National University, Korea, p 64-113.
- Solberg M, Buckalwe JJ, Chen CM, Schaffner DW, O'Neil K, McDowell J, Post LS, Boderck M. 1990. Microbiological safety assurance system for food service facilities. *Food Technol.*, 44(12):68-73.
- Tatini SR. 1973. Influence of food environments on growth of *Staphylococcus aureus* and production of various enterotoxins. *J. Milk Food Technol.*, 36(11):559-563.
- Yoon YH. 2010. Principal theory and application of predictive microbiology. *Food Sci. Ind.*, 43(1):70-74.
- Zwietering MH, Cuppers HGAH, de wit JC, Van T Riet K. 1994. Evaluation of data transformations and validation of a model for the effect of temperature on bacterial growth. *Appl. Environ. Microbiol.*, 60(1):195-203.
- Choi SK. 2021. Home meal replacement, it should be differentiated from processed foods by using domestic raw materials. Available from: <http://www.sisajournal-e.com/news/articleView.html?idxno=236058>, [cited 2021 Nov 30]
- Korea Statistical Information Service. 2021. Average of monthly purchase expenditure on HMR, Available from: [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=114&tblId=DT\\_114053\\_059&conn\\_path=I2](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=114&tblId=DT_114053_059&conn_path=I2), [cited 2021 Nov 30]
- Kwon HJ. 2021. Normalizing school and going to work...E-Mart 24 "Sandwich sales increased 56% in March", Available from: <https://www.yna.co.kr/view/AKR20210405020800030?section=search>, [cited 2021 Nov 30]

## 저자 정보

Hae-Jung Park (Department of Food and Nutrition, Daegu University, Adjunct Professor, 0000-0003-1813-7534)  
Hyun-Joo Bae (Department of Food and Nutrition, Daegu University, Professor, 0000-0001-9535-5303)