

## 어묵의 유통기한 예측모델의 개발

- 연구노트 -

강지훈 · 송경빈<sup>†</sup>

충남대학교 농업생명과학대학 식품공학과

### Developing a Predictive Model for the Shelf-life of Fish Cake

Ji Hoon Kang and Kyung Bin Song<sup>†</sup>

Dept. of Food Science & Technology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

#### Abstract

To develop a predictive model for the shelf-life of fish cake, fish cake was stored at 30, 35, or 40°C and populations of total aerobic bacteria were determined during storage. Gompertz model parameters were determined and their dependence on temperature formulated as a quadratic equation for applications toward shelf-life prediction. The predicted shelf-life values for fish cake used in this study were 6.9, 5.5, and 3.8 days at 0, 4, and 10°C, respectively. The shelf-life prediction equation was appropriate based on statistical analyses that reveal accuracy and bias factors. These results suggest that our prediction model is applicable for estimating the shelf-life of fish cake.

**Key words:** shelf-life, storage, predictive model, fish cake

#### 서 론

즉석식품 중 어묵은 어육에 식염 및 부재료를 첨가해 성형한 가공식품으로써 원료의 사용범위가 넓어 어떤 소재라도 배합이 가능할 뿐만 아니라, 즉시 섭취할 수 있다는 특징이 있어서 간편 식품으로써 그 소비가 증가하고 있다(1). 그러나 어묵은 포장 및 유통 과정에서의 오염이나 제조과정 시 살균되지 않은 유해미생물 등으로 인하여 쉽게 변질된다(2).

최근 식품의약품안전청에서는 식품의 유통기한을 합리적으로 설정하는데 필요한 세부기준을 마련하였는데(3), 어묵의 경우 식품공전 상 유통기한 설정 시험에 산가, 휘발성 염기질소 측정 및 미생물 시험이 포함되어 있다. 그러나 기존의 연구들에서 어묵의 저장 실험 시 산가와 휘발성 염기질소는 큰 변화가 없다는 것이 밝혀졌고(2,4,5), 이러한 결과로부터 어묵의 유통기한에 있어서 이 두 가지 요인은 큰 영향을 미치지 못한다고 판단되어서 미생물학적인 요인이 어묵의 유통기한에 가장 큰 영향을 끼칠 것으로 사료된다.

가공식품의 유통기한은 다른 품질적인 요인보다도 미생물학적인 요인에 의해 크게 달라질 수 있기 때문에, 미생물을 제어함으로써 유통기한을 늘리기 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔다(6-8). 이러한 경향과 더불어 최근 식품의 미생물학적 안전성을 확보하기 위해서 식품 중 미생물의 증식을 수학적 모델을 이용하여 정량적으로 분석, 예측하는 연구가 이루어지고 있다(9-12). 예측미생물학은 수학적 모델을

사용하여 미생물의 성장패턴을 예측, 이로부터 특정 미생물의 최대성장속도(maximum specific growth rate,  $\mu_{max}$ ), 유도기(lag time, LT) 등을 예측할 수 있는 수단으로 사용되는데, 수학적 모델에는 미생물의 성장을 표현하는 1차 모델과 미생물의 증식에 미치는 환경요인의 영향을 표현하는 2차 모델, 그리고 균의 종류와 증식조건 등을 입력함으로써 균의 성장 변화를 예측할 수 있는 3차 모델 등으로 나눌 수 있다(13,14).

식품의 유통기한을 예측하기 위하여 기존 연구들에서는 예측미생물학을 이용해 포장 생선류(15-17), 가금육(18) 등 다양한 식품군의 유통기한에 대한 예측모델을 연구해 왔는데, 가공식품에 대한 유통기한 예측모델에 관한 연구는 아직도 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 수산 가공식품인 어묵을 대상으로 온도 변화에 따른 총 호기성균의 성장 변화를 정량적으로 예측하기 위한 수학적 모델을 적용하고, 또한 유통기한 설정을 위한 기초연구로써 수학적 모델을 개발하고자 하였다.

#### 재료 및 방법

##### 실험 재료 및 저장 조건

본 연구에 사용된 어묵은 연육(66%), 소맥분, 정제염, 대두단백, 대두유, glucono- $\delta$ -lactone, xylose, L-sodium glutamate, potassium sorbate로 만들어진 것으로 대전에 위치한

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail: kbsong@cnu.ac.kr  
Phone: 82-42-821-6723, Fax: 82-42-825-2664

대형마트에서 시판되고 있는 것을 구입하여 실험에 사용하였다. 일정한 크기의 어묵 시료를 준비하기 위해 멸균 칼(Surgical Blade, Father Safety Razor, Osaka, Japan)을 이용해 5×7×0.3 cm의 크기로 자른 후 polyethylene bag(90×80 mm, thickness, 0.2 mm)에 포장하여 30, 35, 40°C에 각각 저장하여 실험하였다.

### 미생물 생육 측정

어묵 시료(10 g)를 멸균 bag에 넣고 3분 동안 stomacher(MIX 2, AES Laboratoire, Combourg, France)에서 균질화시켰다. 균질화된 시료는 멸균된 거즈를 이용하여 거르고 0.1% 멸균 펩톤수로 10배수 연속 희석한 후 배지에 분주하여 미생물 수를 측정하였다. 총 호기성균을 plate count agar(PCA, Difco Co., Detroit, MI, USA)를 사용하여 37°C에서 2일간 배양한 후 형성된 colony로 계수하였다. 검출된 총 호기성균 수는 시료 g당 colony forming unit(CFU)으로 나타냈고 3회 반복 측정하여 평균값을 취하였다.

### Gompertz 모델의 적용

특정 온도에서 어묵의 저장시간에 따른 미생물 성장 속도를 수학적 모델에 적용하기 위하여 Gompertz model(식 1)을 사용하였고(12,19), 3반복을 통한 실험결과 값을 Graphpad PRISM version 5.01 프로그램(Prism, GraphPad Software, San Diego, CA, USA)을 이용하여 생육 지표인 최대성장속도( $\mu_{max}$ )와 유도기(LT)를 계산하기 위한 parameter C, B, M을 얻었으며, 이때 최대성장속도는  $B \cdot C/e$ 로, 유도기는  $M - (1/B)$ 로 계산하였다(20).

$$\text{Log}(N_t) = A + C \exp(-\exp(-B(t-M))) \quad (1)$$

t: 성장시간(h)

$N_t$ : 성장시간에 따른 균수(CFU/g)

A: 초기 균수의 log 값

C: 초기 균수와 최대 균수의 log 값 차

B: 시간 M에서의 성장속도

M: 성장속도가 최대가 되는 시점의 시간

### 유통기한 예측모델 개발 및 적합성 평가

저장온도에 따른 미생물 수 증식과의 상관관계 분석을 위해 Gompertz model을 적용해 계산된 최대성장속도와 유도기를 온도별로 수학적 정량평가 모델인 secondary model에 적용한 후 Graphpad PRISM 프로그램을 이용하여 얻어진 매개변수( $B_0, B_1, B_2$ )로부터 주어진 온도에서의 최대성장속도와 유도기를 예측할 수 있는 quadratic equation(식 2)을 구하였다(20-23).

$$Y = B_0 + B_1 \cdot T + B_2 \cdot T^2 \quad (2)$$

$B_0, B_1, B_2$ : 상수

T: 온도

그리고 유통기한 예측모델 식을 얻기 위해 Gompertz model 식 (1)을 변형시켜, 즉 식 (1)로부터 특정 미생물 수에 도달되는 시간인 t에 관해 변형시킨 식 (3)을 얻었고, 특정

온도에서의 Gompertz model parameter(C, B, M)들을 대입하여 유통기한을 설정할 수 있었으며, parameter A의 경우는 초기 균수로써 1.21 log CFU/g으로 고정하였다.

$$\text{SL}(\text{shelf-life, h}) = M - \{\ln[-\ln\{(\log(10^4) - A)/C\}]/B\} \quad (3)$$

그리고 성장예측모델 및 유통기한 예측모델을 평가하기 위해서 통계적 지표로써 accuracy factor( $A_f$ )와 bias factor( $B_f$ )를 계산하여 평가하였다(12,24,25).

## 결과 및 고찰

### 저장온도에 따른 어묵에서의 총 호기성균 수의 변화

어묵에서 총 호기성균의 저장 온도에 따른 성장패턴을 확인하기 위해서 그리고 시간 등을 절약하기 위한 accelerated shelf-life testing을 위해서 실제 어묵의 저장온도보다 높은 30, 35, 40°C에서 72시간 동안 저장하면서 일정한 시간 간격으로 균수를 측정된 결과, 저장 초기 총 호기성균 수가 1.21 log CFU/g에서 72시간 후 30, 35, 40°C에서 각각 4.91, 5.14, 8.26 log CFU/g으로 증식하였다(Fig. 1). 균수 측정 결과 30, 35°C에서는 미생물 수가 38시간 이후부터 거의 일정해짐을 확인할 수 있었으나, 이와 다르게 40°C의 경우 미생물 수가 38시간 이후에도 계속적으로 증가하여 8 log CFU/g 이상이였다. 이러한 결과는 어묵에 존재하고 있는 균들의 최적 성장온도가 40°C에 근접하여 미생물 수의 증가가 30, 35°C에서보다 더 많이 증가한 것으로 판단된다.

미생물의 성장예측모델 개발에 이용되는 모델 식들은 대상 식품 및 환경요인에 따라 다르기 때문에 통계적인 방법을 이용해 최적의 모델을 선택해야 한다(26). 따라서 미생물 성장예측모델 개발 시 가장 널리 사용되는 모델인 Gompertz model을 이용하여 각 온도 별로 총 72시간의 저장기간 중 어묵에서의 총 호기성균의 최대성장속도와 유도기를 계산하였다(Table 1). 그 결과 저장온도가 높아질수록 미생물의 최대성장속도는 증가하여 40°C에서 0.146 h<sup>-1</sup>로 최대를 보였고 반면에 유도기는 짧아지는 것으로 나타났는데, 30°C에서는 유도기가 최대 6.850 h로 나타나 어묵에서의 총 호기성균의 최대성장속도와 유도기는 모두 온도에 따라 유의적인 차

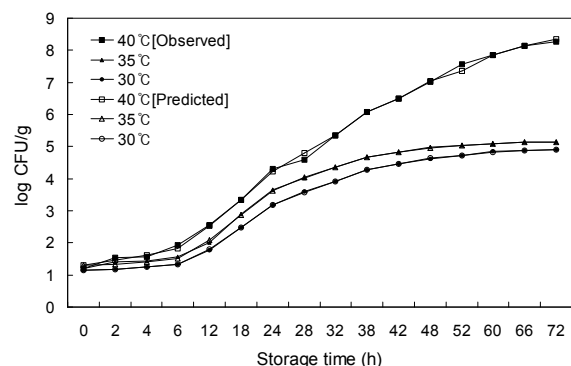


Fig. 1. Observed and predicted growth patterns of total aerobic bacteria in fish cake during storage.

Table 1. Observed maximum specific growth rate and lag time of total aerobic bacteria in fish cake and predicted values

Temperature (°C)	$\mu_{\max}^{1)}$	LT <sup>2)</sup>	$R^2$	Predicted	
				$\mu_{\max}$	LT
30	0.121	6.805	0.9999	0.120	6.795
35	0.136	6.113	0.9993	0.135	6.101
40	0.146	0.773	0.9987	0.145	0.760

<sup>1)</sup>Maximum specific growth rate ( $h^{-1}$ ).

<sup>2)</sup>Lag time (h).

이가 있었다.

Gompertz model을 이용한 기존 연구들에서 미생물의 성장예측모델은 병원성 미생물에 국한된 결과들을 보고하고 있는데(27,28), 본 실험에서 적용된 총 호기성균의 경우도 기존의 병원성 미생물로부터 도출된 결과들과 유사한 패턴을 보였다. Park 등(29)은 김밥에서의 *Listeria(L.) monocytogenes*의 최대성장속도는 온도가 증가할수록 비례하여 증가한다고 보고하였고, Cho 등(23)도 훈제연어에서 *L. monocytogenes*의 최대성장속도가 30°C에서 최대값인 0.45  $h^{-1}$ 를 나타내어 온도가 증가할수록 최대성장속도가 증가하였고, 반면 4°C에서 유도기가 257.2 h로 최대값을 보였다고 보고하였다. 이러한 연구결과들은 기존 식품에서 생육 가능한 병원성 미생물을 집중하여 그 성장패턴을 연구함으로써 식중독 안전관리 방안을 마련하는 것이 목적이었으나, 본 연구에서는 실제 식품에 존재하는 미생물의 성장패턴을 확인하여 식품의 유통기한을 설정하고자 하는 것이 목표였는데, 본 실험 결과 수학적 모델은 기존 연구에서의 병원성 미생물의 성장예측모델의 도출뿐만 아니라 일반 세균의 성장패턴도 확인할 수 있음을 보여 주었다.

#### 성장예측모델의 적합성 평가

저장온도 변화에 따른 어묵의 총 호기성균의 성장을 정량적으로 예측하기 위하여 secondary model인 polynomial model을 사용하였고, 이를 통해 얻은  $B_0$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ 로부터 주어진 온도에서의 최대성장속도와 유도기에 관한 모델식을 얻었다. 어묵의 총 호기성균의 최대성장속도에 대한 모델식은  $Y = -0.05134 + 0.008122T - 0.00007951T^2$ , 유도기에 관한 모델식은  $Y = -86.64 + 5.903T - 0.09295T^2$ 로 얻어졌으며, 이들의 상관계수( $R^2$ )는 모두 0.999로 나타나 상관성이 매우 높은 것으로 판단된다.

그리고 secondary model로부터 얻어진 모델 식을 통해 얻어진 예측값(Table 1)을 이용하여  $A_f$ 와  $B_f$ 를 계산해 모델식의 통계적 적합성을 평가하였다.  $A_f$ 는 측정된 실험값과 계산된 예측값의 차이에 대한 절대값을 평가하는 지표로서, 수치가 커질수록 예측모델이 부정확한 것으로 해석할 수 있고 1에 가까울수록 모델 적합성이 높음을 의미한다. 그리고  $B_f$  또한 수치가 1에 가까울수록 적합성이 높음을 의미하고, 1보다 클 경우 과대 예측된 것이며 1보다 작을 경우 과소 예측된 것으로 해석된다. 어묵의 계산된  $A_f$ 와  $B_f$ 는 최대성장

속도의 경우 모두 1.000, 유도기의 경우 1.002, 0.997로 최대 성장속도와 유도기에 관한 모델 모두 적합성이 뛰어난 것으로 판단된다.

#### 유통기한 예측모델 식 개발 및 적합성 평가

본 연구에서는 미생물의 성장패턴에 따른 최대성장속도와 유도기뿐만 아니라 식품의 유통기한을 설정할 수 있는 유통기한 예측모델 식을 개발하고자 하였다. 특정 온도에서의 미생물 성장 패턴을 확인하기 위하여 Gompertz model의 각 parameter(C, B, M)에 대한 quadratic equation을 얻었고, 유통기한 예측모델 식은 Gompertz model로부터 변형된 것으로 Corbo 등(30)과 Raybaudi-Massilia 등(31)의 연구보고에 기초하였다. 특정 저장 온도에서의 유통기한을 예측할 때, 각 식품의 부패 기준이 될 수 있는 최대 허용 미생물 수를 설정하여야 한다. 어묵의 경우 어육이 60% 이상을 차지하기 때문에 유통기한을 설정하기 위해 어육의 부패 기준이 될 수 있는 미생물 수를 최대 허용 미생물 수로 설정하였다. 어육의 경우 4 log CFU/g 미만일 경우 신선하고, 4~5 log CFU/g일 경우 초기 부패가 진행되며, 5 log CFU/g 이상일 경우 부패하였다고 판단된다(32). 따라서 이러한 기준을 참고하여, 어묵은 어육 이외에 다양한 부재료가 첨가되기 때문에 신선할 수 있는 최대 허용 기준을 4 log CFU/g으로 기준을 다소 엄격하게 임의로 설정하였다.

본 연구에서는 30, 35, 40°C에서 72시간 동안 측정된 균수 결과를 이용하여, 실험하지 않은 저장 온도인 0~10°C에서의 유통기한을 예측할 수 있는 변형된 모델 식을 얻었다. Parameter A의 경우는 초기균수를 나타내는 것으로써 온도에 대한 영향을 받지 않기 때문에 실험 결과 얻어진 초기균수 1.21 log CFU/g으로 고정하였으며, A를 제외한 각 Gompertz model parameter들의 식은  $C = 92.27 - 5.489T + 0.08468T^2$ ,  $B = -1.116 + 0.07291T - 0.001095T^2$ ,  $M = 164.8 - 8.761T + 0.1294T^2$ 이었다. 특정 온도에서 이 식을 이용하여 계산된 C, B, M을 이용하여 유통기한예측 모델 식(식 3)에 대입하여 얻어진 예측된 유통기한은 0, 4, 10°C에서 각각 6.9, 5.5, 3.8일이었다(Table 2). 실제 비살균 어묵 제품의 경우 0~10°C 저장 시 8일 미만의 유통기한을 갖는데, 본 실험 결과 예측된 유통기한은 0~10°C에서 4~7일로 계산되어 실제 제시된 유통기한과 유사함을 확인할 수 있었다. 그러나 유통되고 있는 대부분의 어묵의 경우, 제조 시에 합성보존제가 첨가되기 때문에 실제 어묵의 유통 가능 기한과 본 연구에서 예측된 유통기한 사이에는 차이가 있을 수 있다고 판단

Table 2. Predicted shelf-life of fish cake

Temperature (°C)	Predicted shelf-life <sup>1)</sup> (days)
0	6.9
4	5.5
10	3.8

<sup>1)</sup>Based on the equation, SL (shelf-life, h) =  $M - \{\ln[-\ln\{(10^4 - A)/C\}]/B\}$ .

된다.

예측모델 식의 적합성을 평가하기 위해서는 예측값과 관측값을 비교하여야 하기 때문에, 본 실험에서는 30, 35, 40°C에서 총 호기성균이 4.28, 4.35, 4.30 log CFU/g 수준까지 증식한 시간인 38, 34, 24 h를 관측값으로 설정하였고, 4.30 log CFU/g을 최대 허용 미생물 수로 설정하여 유통기한 예측모델 식에 대입한 후 각 온도에서 구한 38.44, 34.46, 24.61 h를 예측값으로 얻었다. 따라서 이렇게 얻어진 관측값과 예측값으로부터  $A_f$ 와  $B_f$ 를 산출하여 예측모델 식의 통계적 적합성을 평가하였는데,  $A_f$ 와  $B_f$  값이 1.008, 1.003으로 나타나 본 실험에서의 어묵의 유통기한 예측모델 식은 그 적합성이 뛰어난 것으로 판단된다.

## 요 약

어묵의 유통기한을 예측하기 위해서 어묵을 30, 35, 40°C에서 각각 저장하면서 저장기간 중 총 호기성균 수를 측정하였다. Gompertz model을 이용하여 최대성장속도와 유도기를 구하였고, 각 parameter의 온도 의존성에 대한 식을 통해 유통기한에 관한 예측모델 식을 얻었다. 예측모델 식으로부터 계산된 유통기한은 0, 4, 10°C에서 각각 6.9, 5.5, 3.8일이었다. 이렇게 얻어진 예측모델 식의 적합성 평가를 위해  $A_f$ 와  $B_f$  값을 산출한 결과, 각각 1.008, 1.003으로 나타나 예측모델 식의 적합성이 뛰어났다. 이러한 결과로부터 본 연구에서 얻어진 유통기한예측 모델 식은 어묵의 유통기한 설정의 기초연구로써 활용될 수 있다고 판단된다.

## 문 헌

- Shin HY, Lee YJ, Park IY, Kim JY, Oh SJ, Song KB. 2007. Effect of chlorine dioxide treatment on microbial growth and qualities of fish paste during storage. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 50: 42-47.
- Cho HO, Kwon JH, Byun MW, Lee MK. 1985. Preservation of fried fish meat paste by irradiation. *Korean J Food Sci Technol* 17: 474-481.
- Korean Food and Drug Administration. 2011. Korean Food Code available from <http://www.mfds.go.kr/index.do?mid=69&pageNo=20&seq=11157&cmd=v>.
- Jo EJ, Ahn ES, Shin DH. 1997. Lipid and microbial changes of fried foods at market during storage. *J Fd Hyg Safety* 12: 47-54.
- Park YK, Kim HJ, Kim MH. 2004. Quality characteristics of fried fish paste added with ethanol extract of onion. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 1049-1055.
- Kim MH, Kim YJ, Kim KS, Song YB, Seo WJ, Song KB. 2009. Microbial change in hot peppers, ginger, and carrots treated with aqueous chlorine dioxide or fumaric acid. *Korean J Food Preserv* 16: 1013-1017.
- Kim HJ, Song HJ, Song KB. 2011. Effect of combined treatment of aqueous chlorine dioxide with ultraviolet-C on the quality of red chicory and pak choi during storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 245-252.
- Nthenge AK, Weese JS, Carter M, Wei CI, Huang TS. 2007. Efficacy of gamma radiation and aqueous chlorine on *Escherichia coli* O157:H7 in hydroponically grown lettuce plants. *J Food Prot* 70: 748-752.
- Whiting RC, Buchanan RI. 1997. Development of a quantitative risk assessment model for *Salmonella enteritidis* in pasteurized liquid eggs. *Int J Food Microbiol* 36: 111-125.
- Hathaway SC, Cook RL. 1997. A regulatory perspective on the potential use of microbial risk assessment in international trade. *Int J Food Microbiol* 36: 127-133.
- Dalgaard P, Jørgensen LV. 1998. Predicted and observed growth of *Listeria monocytogenes* in seafood challenge tests and in naturally contaminated cold-smoked salmon. *Int J Food Microbiol* 40: 105-115.
- Moon SY, Peak 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: 1012-1017.
- Coleman ME, Marks HM. 1999. Qualitative and quantitative risk assessment. *Food Control* 10: 289-297.
- Yano N. 1998. Predictive microbiology and its application in food industry. *Jpn J Food Microbiol* 15: 81-87.
- Dalgaard P. 1995. Modeling of microbial activity and prediction of shelf life of packed fish. *Int J Food Microbiol* 26: 305-317.
- Dalgaard P, Mejlholm O, Huss HH. 1997. Application of an iterative approach for development of a microbial model predicting the shelf-life of packed fish. *Int J Food Microbiol* 38: 169-179.
- Gibson DM. 1985. Predicting the shelf life of packaged fish from conductance measurements. *J Appl Microbiol* 58: 465-469.
- Pooni GS, Mead GC. 1984. Prospective use of temperature function integration for predicting the shelf-life of non-frozen poultry-meat products. *Food Microbiol* 1: 67-68.
- Ratkowsky DA, Ross T. 1995. Modeling the bacterial growth/no growth interface. *Lett Appl Microbiol* 20: 29-33.
- Korean Food and Drug Administration. 2010. Manual for Microbial Risk Assessment available from [http://www.nifds.go.kr/nifds/08\\_part/part02\\_c\\_dA.jsp](http://www.nifds.go.kr/nifds/08_part/part02_c_dA.jsp)
- Koseki S, Isobe S. 2005. Prediction of pathogen growth on iceberg lettuce under real temperature history during distribution from farm to table. *Int J Food Microbiol* 104: 239-248.
- Koseki S, Mizno Y, Yamamoto K. 2007. Predictive modeling of the recovery of *Listeria monocytogenes* on sliced cooked ham after high pressure processing. *Int J Food Microbiol* 119: 300-307.
- Cho JI, Lee SH, Lim JS, Kwak HS, Hwang IG. 2011. Predictive mathematical model for the growth kinetics of *Listeria monocytogenes* on smoked salmon. *J Fd Hyg Safety* 26: 120-124.
- Miles DW, Ross T, Olley J, McMeekin TA. 1997. Development and evaluation of a predictive model for the effect of temperature and water activity on the growth rate of *Vibrio parahaemolyticus*. *Int J Food Microbiol* 38: 133-142.
- Pal A, Labuza TP, Diez-Gonzalez F. 2008. Comparison of primary predictive models to study the growth of *Listeria monocytogenes* at low temperatures in liquid cultures and selection of fastest growing ribotypes in meat and turkey product slurries. *Food Microbiol* 25: 460-470.
- Zuliani V, Lebert I, Augustin JC, Garry P, Vendevre JL, Lebert A. 2006. Modeling the behavior of *Listeria monocytogenes* in ground pork as a function of pH, water activity, nature and concentration of organic acid salts. *J Appl Microbiol* 103: 536-550.

27. Cho JI, Lee SH, Lim JS, Kawk HS, Hwang IG. 2011. Development of a predictive model describing the growth of *Listeria monocytogenes* in fresh cut vegetable. *J Fd Hyg Safety* 26: 25-30.
28. Park HS, Bahk GJ, Park KH, Pak JY, Ryu K. 2010. Predictive model for growth of *Staphylococcus aureus* in Suyuk. *Korean J Food Sci Ani Resour* 30: 487-494.
29. Park SY, Choi JW, Yeon JH, Lee MJ, Chung DW, Kim MG, Lee KH, Kim KS, Lee DH, Bahk GJ, Bae DH, Kim KY, Kim CH, Ha SD. 2005. Predictive modeling for the growth of *Listeria monocytogenes* as a function of temperature, NaCl, and pH. *J Microbiol Biotechnol* 15: 1323-1329.
30. Corbo MR, Del Nobile MA, Sinigaglia M. 2006. A novel approach for calculating shelf life of minimally processed vegetables. *Int J Food Microbiol* 106: 69-73.
31. Raybaudi-Massilia RM, Rojas-Graü MA, Mosqueda-Melgar J, Martín-Belloso O. 2008. Comparative study on essential oils incorporated into an alginate-based edible coating to assure the safety and quality of fresh-cut Fuji apples. *J Food Prot* 71: 1150-1161.
32. Nonaka J, Hashimoto H, Takabashi H, Suyama M. 1971. Freshness determination method of fish and shellfish. In *Seafood Science*. Kouseishow Kouseigaku, Tokyo, Japan. p 72-77.

(2013년 1월 9일 접수; 2013년 2월 19일 채택)