

## Application of Predictive Microbiology for Microbiological Shelf Life Estimation of Fresh-cut Salad with Short-term Temperature Abuse

Jeong-Ho Lim<sup>1</sup>, Kee-Jea Park<sup>1</sup>, Jin-Woong Jeong<sup>1</sup>, Hyun-Soo Kim<sup>2</sup>  
and Tae-Young Hwang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Korea Food Research Institute, Seongnam 463-746, Korea

<sup>2</sup>Department of Herb Industry, Jungwon University, Goesan 367-805, Korea

### PMP 모델을 활용한 시판 Salad의 Short-term Temperature Abuse 시 미생물학적 유통기한 예측에의 적용성 검토

임정호<sup>1</sup> · 박기재<sup>1</sup> · 정진웅<sup>1</sup> · 김현수<sup>2</sup> · 황태영<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한국식품연구원, <sup>2</sup>중원대학교 한방산업학부

#### Abstract

The aim of this study was to investigate the growth of aerobic bacteria in fresh-cut salad during short-term temperature abuse (4~30°C temperature for 1, 2, and 3 h) for 72 h and to develop predictive models for the growth of total viable cells (TVC) based on Predictive food microbiology (PFM). The tool that was used, Pathogen Modeling program (PMP 7.0), predicts the growth of *Aeromonas hydrophila* (broth Culture, aerobic) at pH 5.6, NaCl 2.5%, and sodium nitrite 150 ppm for 72 h. Linear models through linear regression analysis; DMFit program were created based on the results obtained at 5, 10, 20, and 30°C for 72 h ( $r^2 > 0.9$ ). Secondary models for the growth rate and lag time, as a function of storage temperature, were developed using the polynomial model. The initial contamination level of fresh-cut salad was 5.6 log CFU/mL of TVC during 72 h storage, and the growth rate of TVC was shown to be 0.020~1.083 CFU/mL/h ( $r^2 > 0.9$ ). Also, the growth tendency of TVC was similar to that of PMP (growth rate: 0.017~0.235 CFU/mL/h;  $r^2 = 0.994 \sim 1.000$ ). The predicted shelf life with PMP was 24.1~626.5 h, and the estimated shelf life of the fresh-cut salads with short-term temperature abuse was 15.6~31.1 h. The predicted shelf life was more than two times the observed one. This result indicates a 'fail safe' model. It can be taken to a ludicrous extreme by adopting a model that always predicts that a pathogenic microorganism will grow even under conditions so strict as to be actually impossible.

**Key words** : fresh-cut salad, PMP, predictive microbiology, short-term temperature abuse

#### 서 론

최근 소비가 급증하고 있는 즉석섭취 및 편의식품은 건강 및 편의성을 지향하는 소비자 동향을 잘 설명해 주고 있다. 신선편의식품(Fresh-cut)과 즉석편의식품에 대한 모니터링 및 안전관리기준은 2007년 이후 신설되어 관리되고 있으며, 김밥, 도시락, 햄버거, 샌드위치 및 초밥과 같은 즉석섭취식품, 즉석밥류, 국, 죽 및 스프류와 같은 즉석조리

식품, 야채, 과일샐러드 및 새싹류와 같은 신선편의식품이 그 주요대상 제품이다(1). 특히 대부분의 즉석섭취식품류는 냉장유통제품으로, 유통 중 온도관리가 미생물적, 관능적 품질관리에서 매우 중요하다. 현재까지 이들 제품에 대한 원료부터 소비까지(farm to table), 물류, 유통매대 온도관리 등에 대해 다양한 노력이 지속되어 왔다(2).

한편 냉장 및 냉동제품은 소비자가 제품을 구입한 이후부터의 온도관리도 매우 중요한데, 국내의 경우 특히 신선편의식품의 구입 이후 온도관리에 따른 미생물학적, 관능적 품질연구 등은 전무한 상황이다.

일반적으로 식품의 유통기한은 미생물학적, 화학적 및

\*Corresponding author. E-mail : hty301@jwu.ac.kr  
Phone : 82-43-830-8617, Fax : 82-43-830-8679

관능적 품질지표를 통합적으로 확인하여 보통 1.3~1.5배 확보된 유통기한을 바탕으로 결정하게 되는데, 특히 미생물적 품질지표는 유통기한 설정을 위한 매우 중요한 자료로 활용되고 있다(3). 다만 전통적인 미생물적 지표관리는 시간과 노력이 많이 소요되어, 이를 효율화하기 위한 연구가 지속되었는데 1980년대 후반부터 활성화되기 시작한 예측미생물학이 그 대표적 연구 분야이다. 예측미생물학이란, 다양한 실험조건에서 시간의 경과에 따른 미생물의 증식, 성장, 사멸에 대해 측정된 데이터로부터 일정 실험식을 도출하고 이를 수학적 모델로 작성하여 이를 식품의 품질관리 및 안전성 확보 기술로 응용하고자 하는 연구 분야로 특히 병원성균, 부패균 등을 대상으로 지속적인 연구가 이루어져 왔으나, 1, 2차 모델식의 도출 및 이 모델식의 유효성에 대한 검증에 집중되고, 미생물의 생리적 특성을 완벽하게 반영하는 데는 어려움이 있다(4-6). 한편 현장에서 응용 가능한 예측미생물학으로는 expert 모델(3차 모델)을 들 수 있는데, Gompertz 모델을 기반으로 하는 미국 농무성(USDA)의 Pathogen Modeling Program(PMP)가 그 대표적 프로그램이다. 3차 모델 프로그램을 활용하여 미생물의 증식을 완벽하게 예측하는 것은 불가능 하지만 어떤 특정 조건하에서 미생물의 증식특성에 대해 신속하고 객관적으로 예측하여 실용화하는 것은 가능하며 특히, 총체적 위해 분석의 차원에서 정량적 리스크평가 및 HACCP의 CCP 선정의 기초자료로 활용될 수 있는 등 저비용으로 위해요소를 효율적으로 평가하고 제어할 수 있다고 보고되고 있다(7-11).

즉, 냉장유통식품의 유통기한 설정 중 가장 객관적이며 정량적 지표이며, 관련 위해평가 및 제어에 활용할 수 있는 미생물적 특정 지표를 확보하여, 효율적인 유통기한 설정 및 관리를 하기 위해 이와 같은 미생물 예측프로그램의 활용방안을 조사할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 신선편의식품류 중 신선편의 샐러드제품을 대상으로, 소비자의 제품구입부터 소비까지 온도 관리에 대한 몇 가지 상황을 설정하고 이에 따른 미생물의 증식추이 및 유통기한을 확인하였다. 온도 변화에 따라 도출된 실측 데이터와 예측미생물 프로그램인 PMP 7.0을 활용한 예측 데이터와의 상관관계 및 특성을 확인하여 향후 유통채널 중 특히 제품구입이후의 온도관리의 필요성 및 예측미생물 프로그램의 응용가능성에 대한 기초 연구로 활용하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

시중에서 판매중인 P사의 샐러드 제품을 경기도 성남시 소재의 대형할인매장에서 당일 제조일자, 동일 lot의 제품

을 구매하여 선별 후 사용하였다. 본 실험에 사용한 시판 샐러드 제품은 상추류, 적근대 등 총 5종의 채소류를 동일 비율로 혼합한 샐러드 제품으로 40 g의 중량단위로 PET용기에 리드필름은 PE 재질의 것을 사용하여 밀봉한 상태였다. 구입한 샐러드제품의 pH는 pH meter(AB 15, Fisher Scientific, USA)를 이용하여 측정하였으며, 그 측정값은  $6.58 \pm 0.02$ 였다. 이들 시판 샐러드 제품의 abuse시간은, 구입 시점부터 특정온도에서 각각 1~3시간까지로 설정하고, 10, 20, 30°C에서 각각 1, 2, 3시간까지 보관하였으며, 이 샘플은 특정 abuse시간이 지난 후 가정용 냉장고 및 샐러드에 권장되는 온도인 4°C에서 72시간 동안 보관하면서 미생물의 변화를 측정하였다.

### 미생물의 정량적 측정

멸균 액에 각 처리구의 신선편의 샐러드 시료 10 g씩을 넣고 0.85% Saline solution을 90 mL 가하여 1분간 좌우상하로 각 100회씩 교반한 후, 1 mL씩 취하여 일반세균배지(Petrifilm™ aerobic count, 3M, St Paul, USA)에 각각 접종하였다. 접종 후 일반세균은 35°C에서 48시간 동안 배양한 후 colony 수를 측정하여 log colony forming unit (CFU/mL)으로 나타내었다. 각각의 실험은 2회 반복하였고 각 시료는 duplicate 이상 채취하여 분석하였다.

### 미생물예측 프로그램의 적용

미생물 예측 프로그램 중 미국 농무성(USDA)의 Pathogen Modeling Program (PMP 7.0)과 영국 Institute of Food Research(IFR)의 Combase는 각각 입력 변수가 다소 상이하기는 하지만 용이성 등으로 인해 빈번하게 활용되고 있는 대표적 프로그램이다. Combase의 경우 Fig. 1의 B와 같이 4, 10, 20, 30°C에서 예측한 최대 균수가 8 log CFU/mL 이하로 낮게 나타나 실제 데이터와 비교하기 어려웠다. 따라서 PMP 7.0을 활용하여 미생물 성장 및 유통기한을 예측하였다. PMP 7.0은 *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp, *Staphylococcus aureus*, *Aeromonas hydrophila* 등에 대한 growth model, thermal inactivation model, survival model을 확보하고 있으며, 초기 환경조건으로 온도, pH, Aw, NaCl함량 및 초기균수를 입력하면 그 결과로 lag phase duration, 세대기간 및 특정 균수에 도달하는 시간을 얻을 수 있는데, 이들 결과를 바탕으로 다음과 같이 유통기한의 도출이 가능하다(12).

$$\text{Shelf life} = t_L + t_G \ln(C_f/C_0)/\ln 2$$

$t_L$  = Lag time,  $t_G$  = Generation time,  $C_f$  = the maximum permissible concentration in CFU/mL,  $C_0$  = the initial bacterial concentration

PMP 7.0을 적용하여 미생물 증식 패턴을 구하기 위해

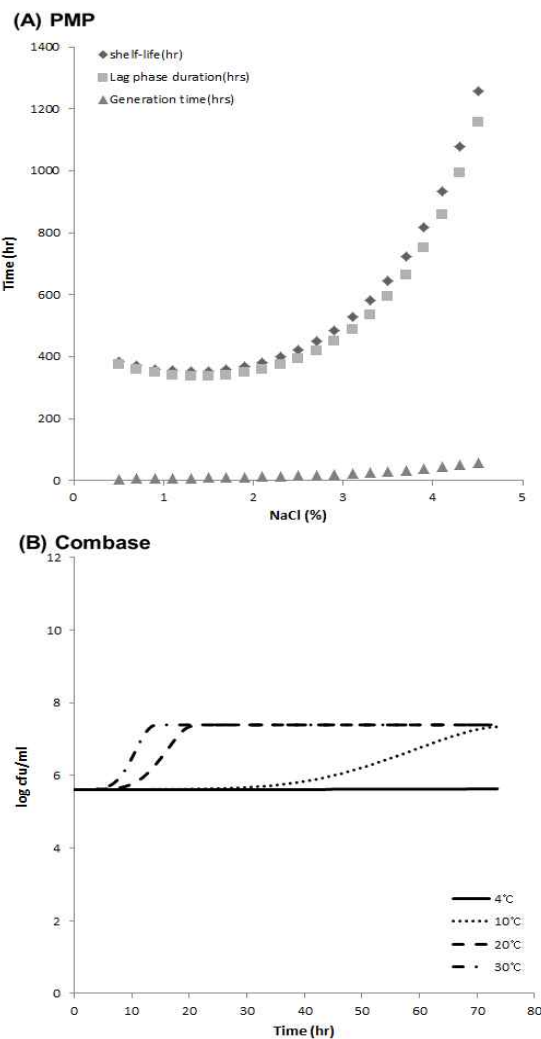


Fig. 1. Predicted growth of *Aeromonas hydrophila* (Broth Culture, Aerobic) at various conditions using PMP 7.0 (A) and Combase (B).

입력한 환경인자는 pH 5.6, NaCl 2.5%, sodium nitrite 150 ppm이었으며, 이는 Fig. 1의 A와 같이 동일 온도, sodium nitrite 함량, pH, 초기균수 하에서 NaCl 함량의 변화에 따라 예측된 데이터 중 실측 데이터의 생장율이 가장 유사한 조건을 선정된 것이다.

### 결과 및 고찰

#### 온도 abuse에 따른 일반미생물의 성장패턴 및 유통기한

소비자가 실제 냉장유통 중인 샐러드 제품을 구입하고 아이스 패킹 등을 통해 권장 온도인 4°C를 유지하는 것을 대조구로 하여 측정된 일반미생물의 성장결과는 Table 1과 같다. 부적절한 온도 및 abuse 시간이 증가할수록 빠르게 증식하는 것을 볼 수 있었다. 이는 샐러드 제품의 유통기한 시점으로 판단되는 log 7 CFU/mL에 도달하는 시간이 짧아지게 되므로, 이를 통해 유통기한이 단축될 수 있음을 시사하는 것이다. 실측한 데이터를 대상으로 DMFit을 사용하여 grow rate 및 r<sup>2</sup>를 도출한 결과는 Table 1과 같다. 온도가 증가할수록 0.020에서 1.083까지 grow rate도 증가했으며, 이 모델의 적합도를 나타내는 r<sup>2</sup>의 값은 전 실험구에서 0.9 이상을 나타내었다. 실측 데이터로부터 도출한 유통기한의 경우 온도가 증가함에 따라 61.1시간에서 15.6시간으로 짧아지고 있으며, 같은 온도 내에서는 abuse 시간이 길어질수록 감소하였다(Table 2). 제품이 유통매장에 도착하기까지 48시간 소요될 것으로 예상할 경우 유통기한은 109.1~63.0 시간까지로 추정된다.

이와 같은 결과는 적정하지 않은 온도에서 장시간 보관하게 될 경우 그렇지 않은 경우에 비해 유통기한이 짧아지게 되므로, 소비 시 주의를 기울여야 함을 나타낸다. 우리나라

Table 1. Microbiological changes of fresh-cut salads during 72 hr of storage at short term temperature abuse

Temperature profile (°C) <sup>1)</sup>	Storage time (hr)						
	0	1	2	3	24	48	72
4 <sup>1)</sup>	5.61±0.05 <sup>2)</sup>	5.72±0.01	6.15±0.01	6.19±0.04	6.12±0.01	6.90±0.05	7.01±0.04
10_1	5.61±0.05	6.00±0.06			6.53±0.10	6.87±0.07	6.12±0.01
10_2	5.61±0.05		6.25±0.03		6.80±0.03	6.62±0.12	7.13±0.06
10_3	5.61±0.05			5.87±0.03	6.24±0.04	6.94±0.05	6.50±0.05
20_1	5.61±0.05	6.34±0.06			6.62±0.08	6.99±0.05	6.87±0.06
20_2	5.61±0.05		6.25±0.05		7.29±0.03	6.27±0.28	7.02±0.05
20_3	5.61±0.05			6.35±0.05	7.69±0.02	6.64±0.01	7.59±0.01
30_1	5.61±0.05	6.29±0.04			6.60±0.10	6.95±0.04	7.01±0.08
30_2	5.61±0.05		6.51±0.04		7.16±0.06	7.06±0.05	7.14±0.04
30_3	5.61±0.05			6.68±0.01	7.76±0.75	7.13±0.03	7.08±0.04

<sup>1)</sup> 4\_1, 4\_2, 4\_3; storage at 4°C for 72 hr, 10\_1, 10\_2, 10\_3; storage at 10°C for 1, 2, 3 hr respectively and then storage at 4°C for 72 hr, 20\_1, 20\_2, 20\_3; storage at 20°C for 1, 2, 3 hr respectively and then storage at 4°C for 72 hr, 30\_1, 30\_2, 30\_3; storage at 30°C for 1, 2, 3 hr respectively and then storage at 4°C for 72 hr, <sup>2)</sup> cfu/ml

라의 냉장유통 매대 및 제품의 보관온도 실태 조사결과에 따르면 샐러드 제품의 경우 7.5% 정도가 10℃이상의 표면 온도를 나타내고 있었다(13). 즉, 매장에서부터 가정까지 4℃이상의 온도에 노출 될 경우 제조사가 설정한 제품의 고유 유통기한을 유지하기 어려울 것으로 보인다.

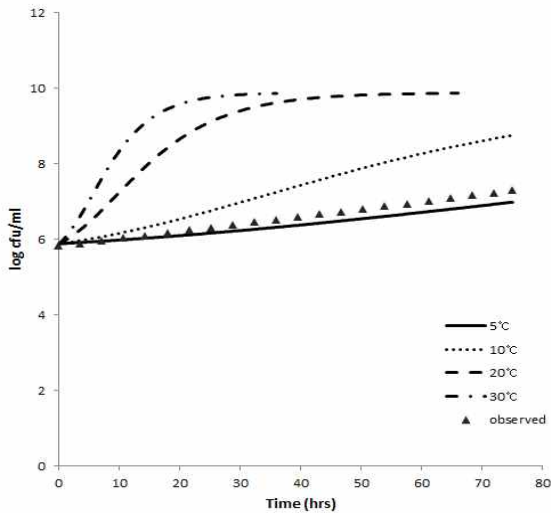


Fig. 2. Predicted growth pattern of *Aeromonas hydrophila* (Broth Culture, Aerobic) at pH 6.6, NaCl 2.5%, sodium nitrite 150 ppm.

▲ observed means data form storage at 4℃.

Table 2. Observed growth rate and shelf life of fresh-cut salads with short-term temperature abuse

Temperature profile (°C) <sup>1)</sup>	Growth rate (CFU/mL/hr)	r <sup>2</sup>	Shelf life (hr) <sup>2)</sup>	
			observed	predicted sum
4	0.020	0.913	61.1	109.1
10_1	0.023	0.864	53.1	101.1
10_2	0.018	0.946	53.1	101.1
10_3	0.026	0.971	51.6	99.6
20_1	0.043	0.991	44.6	92.6
20_2	0.321	0.997	19.8	67.8
20_3	0.247	0.998	15.0	63.0
30_1	0.042	0.986	24.6	72.6
30_2	0.911	0.992	18.3	66.3
30_3	1.083	0.995	15.6	63.6

<sup>1)</sup>The product was held at 4, 10, 20, 30℃ for 1, 2, and 3 hrs respectively and then the product was moved to 4℃ storage for 72 hrs.

<sup>2)</sup>shelf life = point of log 7 CFU/mL

### 미생물 예측 결과

예측미생물학의 1, 2단계 모델을 통합하여, 사용이 편리한 상업화된 3단계 모델로는 PMP 7.0과 Combase가 대표적이다. 이들 프로그램은 사용자 친화적인 인터페이스를 확보하고 웹 기반의 사용이 가능하므로, 1, 2단계 모델에 대한

이해도가 없는 사용자도 쉽게 사용이 가능한 장점이 있다(14). 본 연구에서는 실측데이터와 유사한 양상을 나타내는 PMP 7.0을 사용하여 미생물의 성장을 예측하였고 이를 바탕으로 유통기한을 도출하였다(Fig. 1).

PMP 7.0에 입력하게 되는 조건 중 온도의 경우 5℃부터 입력이 가능하므로, 본 실험조건인 4℃와 동일하지 않으나, Fig. 3과 같이 5℃의 예측 데이터는 4℃에서의 실측 데이터와 매우 유사한 증식양상을 보이고 있다. 또한 온도의 증가에 따라 빠른 증식양상을 나타내고 있음을 볼 수 있다.

PMP 7.0으로 예측된 미생물의 증식 양상은 온도에 따라 0.017~0.235 CFU/mL/hr로 나타났으며, 모든 구에서 0.994~1.000까지 높은 수준의 r<sup>2</sup>을 나타내었다(Table 3).

Table 3. Predictive growth rate and r<sup>2</sup> values of aerobic *Aeromonas hydrophila* (Broth Culture, Aerobic) at pH 6.6, NaCl 2.5%, sodium nitrite 150 ppm

Temperature (°C)	Growth rate (CFU/mL/hr)	r <sup>2</sup>
5	0.017	0.999
10	0.045	1.000
20	0.135	0.994
30	0.235	0.994

### 유통기한 예측 모델의 유효성

PMP 7.0을 활용하여 추정된 모델을 통해 유통기한을 예측한 결과는 Table 4와 같다. 온도가 증가함에 따라 lag time 및 세대기간이 길어지므로 유통기한은 동시에 감소하고 있었다.

Table 4. Estimation of shelf life using Predicted data from PMP 7.0

Temp. (°C)	tL (hr) <sup>1)</sup>	tG (hr) <sup>2)</sup>	Estimated shelf life (hr) <sup>3)</sup>
5	394.45	16.32	626.5
10	113.69	6.56	207
20	19.64	1.83	45.7
30	9	1.06	24.1

Growth rate of *Aeromonas hydrophila* (Broth Culture, Aerobic) predicted at pH 5.6, NaCl 2.5%, sodium nitrite 150 ppm and different temperature using PMP 7.0.

<sup>1)</sup>Lag time, <sup>2)</sup>Generation time, <sup>3)</sup>Shelf life=tL+tG ln(Cf/C0)/ln2, Cf (the maximum permissible concentration in CFU/mL), C0 (the initial bacterial concentration)

예측 데이터를 대상으로 도출된 성장예측모델 및 유효성을 검증한 결과는 Table 5와 같다. Mean square error(MSE)는 미생물의 최대증식속도에 대한 실험 값과 예측 값의 차이를 나타내는 수치로 0에 가까울수록 도출된 예측모델의 적합성이 높음을 의미한다. Af는 측정된 실험값과 예측값 사이의 절대 값을 평가하여 1에 가까울수록 적합성이 높음을 의미한다. 또한 Bf는 실측값과 이차 모델식에서 도

출된 예측 값의 차이를 평가하여 1보다 클 경우 과대 예측된 것으로, 1보다 작을 경우 과소 예측된 것으로 해석한다(15). PMP를 통해 도출된 모델은 MSE가 0.000852로 적합성이 높으나, Bf측면에서는 과소 예측된 것으로, Af측면에서는 실측값에 근접하는 것으로 나타났다. 샐러드에 *Listeria Monocytogenes*균을 접종하여 challenge test를 실시한 결과 Bf는 1.050084~1.931472로 Af는 1.160767~2.137181로 나타났다(15). 이는 PMP라는 예측 모델을 사용하여 도출한 모델의 적합성이 더 높은 것을 나타내며 다년간 수많은 데이터를 축적하여 검증은 거친 프로그램임을 실증하는 것으로 보인다.

한편 현장작용을 위한 예측모델에 대한 평가에 있어, 안전함에 대해 오류가 발생하는 경우(fail safe)와 위험함에 대해 오류가 발생하는 경우(fail dangerous)를 생각할 수 있다(12). 전자의 경우 예측 값이 실제 값보다 높게 나타나 후자보다 안전성 확보 측면에서는 오히려 안전할 수 있다. 반면 현장에서 적용할 경우 유통기한 단축으로 인한 원가 상승 가능성이 발생할 수 있다. 또한 PMP 등 예측미생물학을 활용한 시뮬레이션을 통해 확보된 lag time duration, 세대 기간에 따라 도출된 유통기한의 경우, 통계처리에 따라 결과가 상반되게 도출될 수도 있다(12).

본 연구에서 PMP를 활용하여 도출한 유통기한은 24.1~626.5시간으로, 모든 온도에서 실측 값(15.6~61.1시간)에 비해 높았으며, 생산시점부터 환산한 실측 유통기한(63.6~109.1시간)보다 2배 이상 높게 나타났다. PMP에 입력한 환경인자와 달리 실측 값은 10, 20, 30°C에서 각각 1, 2, 3시간씩 abuse되었기 때문에 이로 인한 유통기한 단축이 예상된다. 또 본 결과는 예측 값이 실측 값보다 높은 'Fail safe'에 해당하는 것으로 안전성 측면에서는 유리하지만 유통기한이 더 짧게 설정되어 관리 시 추가 비용이 소요될 가능성이 있다.

**Table 5. Evaluation of the predictive model for effect of temperature on the specific growth rate of *Aeromonas hydrophila* (Broth Culture, Aerobic)**

Equation	MSE <sup>1)</sup>	Bf <sup>2)</sup>	Af <sup>3)</sup>
Grow rate = -0.0056 + 0.0044*Temp + 0.0001*Temp*Temp	0.000852	0.750056	1.333233

Growth rate of *Aeromonas hydrophila* (Broth Culture, Aerobic) predicted at pH 5.6, NaCl 2.5%, sodium nitrite 150 ppm and different temperature using PMP 7.0.

<sup>1)</sup>Mean square error, <sup>2)</sup>Bias factor, <sup>3)</sup>Accuracy factor

## 요 약

시판 샐러드제품의 구입부터 가정까지의 이동 및 소비 직전까지 적정하지 않은 온도관리를 예상하여 단기간의 온도 abuse 상황을 설정하고 미생물적 유통기한을 도출하

였다. 보다 효율적인 유통기한 설정을 위해 예측미생물학의 3단계 모델인 PMP 7.0을 활용하여 그 활용가능성을 조사하였다.

부적절한 온도에서의 abuse 시간이 증가할수록 미생물은 빠르게 증식하여 샐러드 제품의 유통기한 시점으로 판단되는 log 7 CFU/mL에 도달하는 시간이 짧아졌다. 온도가 증가할수록 0.020에서 1.083까지 grow rate도 증가했으며, 이 모델의 적합도를 나타내는 r<sup>2</sup>의 값은 전 실험구에서 0.9 이상을 나타내었다. PMP 7.0으로 예측된 미생물의 증식 양상은 온도에 따라 0.017~0.235 CFU/mL/hr로 나타났으며, 모든 구에서 0.994~1.000까지 높은 수준의 r<sup>2</sup>을 나타내었다. 또 PMP를 활용하여 도출한 유통기한의 경우도 온도가 증가함에 따라 감소하였다.

실측된 값을 바탕으로 한 샐러드 제품의 유통기한은 유통매장에 도착하기까지 48시간 소요될 것으로 예상할 경우 유통기한은 109.1~63.0시간까지로 추정되며 PMP로 도출된 유통기한(24.1~626.5시간)에 비해 짧게 나타났다. 이는 온도 abuse에 의한 영향 및 fail safe에 해당하는 결과로 안전성 측면에서는 유리하나 관리적 측면에서 과도한 기준의 설정 등을 통해 관리비용의 증가 등의 단점이 발생할 수 있는 것으로 판단된다. 즉, 예측미생물학을 활용하여, 유통기한 설정 및 품질관리를 위한 초기 미생물 기준 설정 시 특정 식품에 적용하는 것은 효율적인 시도가 될 것이나, 이를 전반적인 기준으로 설정하는 것은, 통계적, 실제적 오류 발생이 가능할 것으로 오히려 관련 효율을 저해할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. KFDA (2007) Notification No. 2007-63, Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea, p 29-31
2. Koo MS, Kim YS, Shin DB, Oh SW, Chun HS (2007) Shelf-life of prepacked kimbab and sandwiches marketed in convenience stores at refrigerated condition. J Food Hyg Safety, 22, 323-331
3. KFDA (2011) Guidelines on shelf life of foods, Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea, p 20-23
4. Steven CI, Melody AF, Greg MB, Barbara HI, John PN, Donald WS (2007) Predicting Pathogen Growth during Short-Term Temperature Abuse of Raw Pork, Beef, and Poultry Products: Use of an Isothermal-Based Predictive Tool. J Food Protection, 70, 1445 - 1456
5. Zwietering MH, Jongenburger I, Rombouts FM, Triet KV (1990) Modeling of the Bacterial Growth Curve. Applied and environmental microbiology, 56, 1875-1881
6. Rosso L, Lobry JR, Bajard S, Flandrois JP (1995)

- Convenient Model To Describe the Combined Effects of Temperature and pH on Microbial Growth. *Applied and environmental microbiology*, 61, 610 - 616
7. Panisello PJ, Quantick PC (1998) Application of Food MicroModel predictive software in the development of Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) systems. *Food Microbiology*, 15, 425-439
  8. Baranyi J, Roberts TA (1994) A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *International Journal of Food Microbiology*, 23, 277-294
  9. Bemrah N, Sanaa M, Cassin MH, Griffiths MW, Cerf O (1998) Quantitative risk assessment of human listeriosis from consumption of soft cheese made from raw milk. *Prev Vet Med*, 37, 129-45
  10. Ross T, McMeekin TA (1994) Predictive Microbiology. *Int J Food Microbiol*, 23, 241-264
  11. Lammerding AM, Fazil A (2000) Hazard identification and exposure assessment for microbial food safety risk assessment. *Int J Food Microbiol*, 58, 147-57
  12. Robin CM, Xuewen L (2004) Modeling microbial responses in food. CRC Press, Florida, USA, p 185-187
  13. Lee YS, Ha JH, Park KH, Lee SY, Choi YJ, Lee DH, Park SH, Moon ES, Ryu K, Shin HS, Ha SD (2008) Survey on Storage Temperature of Domestic Major Chilled Foods in Refrigerator. *J. Fd Hyg Safety*, 23, 304-308
  14. Isabel W, Virginia NS (1997) Use of predictive microbiology in microbial food safety risk assessment. *Int J Food Microbiol*, 36, 97-102
  15. Cho JI, 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 Safety*, 26, 25-30

---

(접수 2012년 8월 3일 수정 2012년 9월 26일 채택 2012년 9월 28일)