

## 살균 Target 미생물 사멸효과 예측 프로그램 개발

†신해헌 · 김영준\* · 조원일\*\* · 최준봉\*\* · 최동원\*\*\*

천안외국어대학 식품유통과, 천안외국어대학 비서정보과\*, 제일제당 식품연구소\*\*,  
경민대학 다이어트정보과\*\*\*

### Development of a Computer Program Predicting Sterilization Effects on Target Microorganisms

†Hae-Hun Shin, Young-Joon Kim\*, Won-Il Cho\*\*, Jun-Bong Choi\*\* and Dong-Won Choi\*\*\*

*Dept. of Food Marketing, Cheonan College of Foreign Studies*

*Dept. of Secretaries Information, Cheonan College of Foreign Studies\**

*Foods R&D Center, Cheiljaedang\*\**

*Dept. of Dietary Information, Kyungmin College\*\*\**

#### Abstract

In order to prediction of lethal effects on target microorganisms, this study was developed the program in the basis of Excel that was systemized with Visual Basic. This program was automatically calculated the lethal effects ( $L$  and  $F_0$  value) by using thermal characteristics ( $D$  and  $z$  value), kinetic model and mathematic model. For the selection of target microorganisms, we are selected two microorganisms because of spoilage increasing by acid production and decreasing quality of food, and heat resistance microorganisms. The target microorganisms were *Bacillus cereus* ( $D_{121.1} = 0.0065$  min,  $z = 7.8^\circ\text{C}$ ) and *Bacillus subtilis* ( $D_{121.1} = 0.5$  min,  $z = 12^\circ\text{C}$ ). The program was developed for the target microorganisms, and that was very useful for various microorganisms that direct introducing known  $D$  and  $z$  value.

Key words : program, target microorganism, lethality,  $F_0$  value.

#### 서 론

가공식품 제조에 있어서 열전달(heat transfer)은 냉장(refrigeration), 동결(freezing), 살균(thermal sterilization), 건조(drying), 증발(evaporation), 농축(concentration) 등의 다양한 가공공정에서 미생물적 안정성, 효소 불활성화, 관능품질 향상 등의 여러 목적으로 사용되는 중요한 단위조작(unit operation)이다<sup>1)</sup>. 특히 이 중에서 열전달을 이용한 살균공정은 가공 조리식을 대량 생산, 유통하는 가공식품으로 전환시키는데 있

어 매우 중요한 역할을 담당하게 된다. 이는 식품은 살아있는 물질로서, 대사작용을 할 수 있는 효소와 다른 영양성분을 함유하고 있어 포함하고 있는 수분함량에 따라서, 생산 후 인간이 이용할 때까지 이화학적 및 생리적 변화와 함께 미생물의 번식으로 상품성이나 영양성 및 기호성 등이 저하된다. 따라서 이러한 변화를 억제하기 위하여 많은 상업적 보존기술이 개발되었다. 이러한 기술 중에서 가장 널리 사용되는 방법이 열전달에 의한 가열살균기술이다<sup>2)</sup>.

열처리 살균방법은 가열온도에 따라 레토르트 살

† Corresponding author : Hae-Hun Shin, Department of Food Marketing, Cheonan College of Foreign Studies, 393 Anseo-Dong, Chungnam, 330-705, Korea.

Tel : 041-550-0490, Fax : 041-550-0452, E-mail : hun@ccfs.ac.kr

균, 고온단시간 살균(HTST), 후살균(2차 살균), 저온살균, 블렌칭 등으로 구분된다. 이 중에서 115~121°C, 2.0 Kg/cm<sup>2</sup>의 고온, 고압하에서 수 분에서 수 십 분간 가열하여 F<sub>0</sub>값이 4이상 되는 조건을 가하여 미생물, 포자류를 사멸시켜 저장성을 확보하는 레토르트 가열이 대표적인 열처리를 이용한 가공공정이다<sup>3,6)</sup>.

이러한 레토르트 살균은 미생물을 상업적 멸균조건까지 사멸시켜 상온에서도 장기간 유통가능한 제품을 제조할 수 있다는 장점을 가지고 있지만 종종 제품 특성에 맞는 정확한 열처리 조건이 확립되지 않아 표면은 과도하게 살균되는 overheating이 발생하여 관능품질이 손상되는 문제점을 가지고 있으며, 과잉 에너지 소비는 제품의 생산단가를 상승시키는 요인이 된다. 따라서 살균조건은 에너지 소비와 제품의 품질저하를 최소화 할 수 있도록 최적화되어야 한다<sup>7,8)</sup>.

현재까지 알려진 살균효과 평가방법은 살균후 미생물의 생육여부를 실험하는 실험적 방법과 미생물의 내열성 자료를 이용하여 살균효과를 계산하는 수학적 방법이 있는데, 전자는 많은 노력과 시간이 소요되므로 잘 이용되지 않고 후자의 수학적 방법이 주로 사용된다<sup>9)</sup>. 최근에는 computer를 이용하여 살균효과를 보다 정확하고 쉽게 계산하는 방법들이 보고되고 있는데, Teixeria 등은 살균공정 중 미생물의 사멸효과 및 thiamine의 파괴를 동시에 예측할 수 있는 numerical computer model을 개발하였다. 그러나 이러한 살균효과평가 방법 등이 모든 식품 및 장치에 균일하게 적용되는 것이 아니므로 식품의 종류 및 장치에 따라 적용 가능한 방법을 선택 또는 개발하여야 한다<sup>10)</sup>.

따라서 본 연구에서는 야채식품을 기반으로 하는 식품에서의 미생물을 검토하여, 다양한 미생물 중에서 target 미생물을 선정한 후, 이 미생물들의 내열성 특성치와 kinetic 모델 및 수식을 이용하여, 살균 목적 미생물의 사멸효과를 정확히 예측하여 최적 살균공정을 설계하는데 기반 데이터를 제공하고자 유용한 프로그램을 제작하는 것을 목적으로 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 대상식품

야채 basis 식품에서 사멸목적 미생물을 선택하기 위해서 사용한 모델식품은 들깨맛 오가리 무침이다. 이는 건조야채베이스의 전통 밑반찬 식품으로서, 그 주요 원료는 들깨, 호박오가리(건조야채), 가지오가리(건조야채), 무말랭이(건조야채), 간장 등의 양념이다. 이러한 각 원료내의 미생물 현황을 파악하기 위하여,

총균수와 내열성 균수를 각각 측정하였다.

## 2. 살균모델<sup>3)</sup>

### 1) 치사율(L, lethality)

식품모델에서 시간에 따른 온도를 구한 경우에는 목적하는 미생물의 살균여부를 구해야 하는데 일반적으로 치사율(L, lethality)과 F<sub>0</sub> 값으로 표현하게 된다. 치사율은 임의의 온도 T에서 1분간 가열했을 때와 동일한 살균효과를 가지는 121.1°C에서의 살균시간을 의미한다.

치사율 L은 다음과 같이 표현된다.

$$L = 10^{\frac{T - T_0}{z}} \quad (1)$$

여기서, T는 임의의 온도, T<sub>0</sub>는 기준온도(일반적으로 121.1°C)이다. z는 target 미생물의 z값이다.

L값은 식 (1)에서와 같이 온도와 z값의 함수이므로, 이들 값을 알면 간단하게 계산할 수 있다. L은 무차원이나 실제로는 (min at 121.1°C)/(min at T)의 단위를 갖는다.

### 2) F<sub>0</sub>값

치사율은 가열살균공정에서 시간에 따라 온도가 변화므로 당연히 변화하게 된다. 따라서, 주어진 살균공정에서 총살균효과는 기준온도 121.1°C에서의 상당시간을 의미하므로 이를 살균공정의 F<sub>0</sub>값이라고 한다.

$$F_0 = \int_0^t L dt \quad (2)$$

따라서, 각 시간에 따른 치사율을 시간에 대해 적분하면 된다.

### 3) 적분<sup>11)</sup>

적분을 위해서는 수치적분법을 이용하였다. 수치적분법에는 사다리꼴 공식과 Simpson's rule이 가장 널리 사용된다.

이 방법은 우선 치사율곡선의 시간축을 등간격 n개로 나누고, 각 시간에서의 치사율을 계산한 후 다음과 같은 사다리꼴 공식을 이용한다.

$$F_0 = \Delta t \left[ \frac{L_0 + L_n}{2} + L_1 + L_2 + \dots + L_{n-1} \right] \quad (3)$$

홀수개의 L값을 갖는 치사율 곡선에서는 Simpson's rule을 사용한다.

$$F_0 = \frac{4t}{3} [L_0 + 4(L_1 + L_3 + \dots + L_{n-1}) + 2(L_2 + L_4 + \dots + L_{n-2}) + L_n] \quad (4)$$

4) 미생물의 감소정도(m)

미생물의 감소정도(m)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$m = \frac{F_0}{D_0} \quad (5)$$

여기서  $D_0$ 는 target 미생물의 decimal reduction time(min)이다.

3. 프로그램

살균예측 프로그램은 그 활용성을 높이기 위해서 기본적으로 Excel 프로그램을 이용하였으며, 필요에 의해 Excel과 Visual Basic을 연동하여 작성하였다. 기본적으로는 온도측정을 한 후에 얻어진, 시간에 따른 온도값을 대입하면, 시간에 따른 온도변화를 그래프로 표현할 수 있게 하였으며, 위 식에서 나타낸 방법을 대입하여 시간에 따른 치사율(L),  $F_0$ , m을 즉시 계산하여 나타나게 작성하였다.

결과 및 고찰

1. Target 미생물의 선택

야채원료 제품에서의 미생물의 분포를 검토하고자, 들깨맛 오가리 무침의 원재료에서의 미생물을 총균수와 내열성 균수로 구분하여 측정하였다 (Fig. 1). 그 결과 야채식품에서의 미생물 오염은 사용되는 원료에 의해서 차를 보이고 있다. 총균수에서는 호박오가리, 가지오가리, 무말랭이 등의

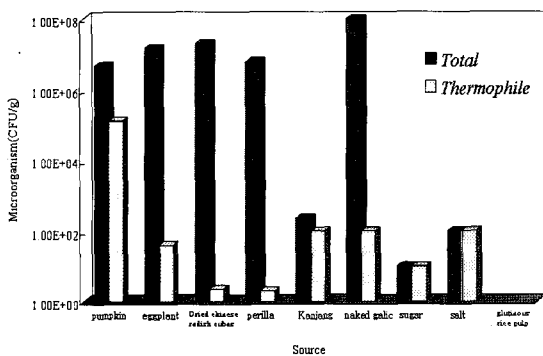


Fig. 1. Comparisons of microorganism distribution at various materials of vegetables basis foods.

건조야채와 깎마늘에서 10<sup>6</sup> CFU/g 이상을 보이고 있는 반면에, 간장, 설탕, 소금 등의 양념재료에서는 10<sup>2</sup> CFU/g 정도의 낮은 값을 보이고 있다. 이는 양념류의 경우에는 전처리로서 열처리를 일부 하기 때문인 것으로 판단되었다. 이는 내열성 균수를 검토하면 가지오가리, 무말랭이, 들깨 등에서는 총균수에 비해 그 수가 상대적으로 낮은 반면에 간장, 설탕, 소금 등의 양념류에서는 총균수와 내열성 균수가 거의 유사함에서부터 알 수 있다.

그러나, 일반적인 식품가공공정에서는 데치기 (blanching)와 볶음, 양념(다진마늘 등) 데치기 (100℃, 3초), 주정 분무 그리고 포장 후 2차 살균(85℃, 15분)의 열처리 공정을 하기 때문에 실제로는 큰 문제가 되지 않는다.

따라서, 야채원료 제품 내에서 target 미생물을 선택하고자 미생물의 현황을 검토하였다(Table 1). 야채식품에서의 미생물은 중온세균, 젖산균, 효모, 병원성미생물(채소제품은 거의 1% 만이 오염), 산막효모, 호기성포자 형성균 등이 분포하고 있다. 그러나 대부분의 균의 D값이 매우 낮은 값을 보여서, 실제로 가열살균 처리시에는 큰 의미를 부여하지 못하고 있다. 따라서, 여러 대상 미생물 중에서 내열성이 가장 큰 호기성 포자형성균인 *Bacillus* spp. 계통이 산을 형성하여 맛 등의 품질을 저하시켜 변패를 유발하며, 위생적인 면에서 포자수를 줄이거나 사멸할 필요가 있어서 선택하였다. 따라서, 본 연구에서는 병원성 균 중에서  $D_{121.1}$ 이 0.0065분, z값이 7.8℃인 *Bacillus cereus*와 부패현상 관련 균 중에서  $D_{121.1}$ 이 0.5분, z값이 12℃인 *Bacillus subtilis*를 target으로 선정하여 프로그램을 개발하였다.

2. 프로그램

시간에 따른 온도변화 데이터를 이용하여 다양한 미생물들의 가열살균 효과를 D값, z값 등의 미생물 내열성 특성치와 kinetic 모델 및 수식을 이용하여 살균치 계산을 컴퓨터를 이용하여 수행함으로써 target 미생물의 살균정도를 예측하고자 프로그램을 개발하였다.

본 프로그램은 병원성 균 중에서 *Bacillus cereus*와 부패현상 관련 균 중에서 *Bacillus subtilis*를 대상으로 해서 개발되었으며, 필요시에는 D값과 z값을 직접 대입함으로써, 여러 가지 미생물에 대해서도 적용이 가능하게 하였다.

**Table 1. Distribution of microorganisms in the vegetable base food**

Microorganism		CFU/g	D <sub>(T)</sub> (min)	z(°C)
Mesophile bacteria	<i>Pseudomonas</i> spp.	10 <sup>8</sup> ~10 <sup>9</sup>	D <sub>50</sub> =7.4	4~7
Lactic acid bacteria	<i>Leuconostoc</i> spp.	10 <sup>5</sup> ~10 <sup>9</sup>	D <sub>65.5</sub> =1.0	4.4~5.6
Yeast	<i>Candida</i> spp.		D <sub>50</sub> =9.7	5.6
	<i>Cryptococcus</i> spp.	10 <sup>4</sup> ~10 <sup>8</sup>	D <sub>65.5</sub> =1.0	4.4~5.6
	<i>Rhodotorula</i> spp.			
Pathogenic	<i>Listeria monocytogenes</i>	1~10 <sup>2</sup>	D <sub>60</sub> =2.5	4~7
	<i>Yersinia enterocolitica</i>		D <sub>62.8</sub> =0.96	4~7
	<i>Aeromonas hydrophila</i>	10 <sup>4</sup> ~10 <sup>6</sup>	D <sub>60</sub> =2.5	4~7
	<i>Staphylococcus aureus</i>	1~10 <sup>2</sup>	D <sub>60</sub> =2.5	4~7
	<i>Escherichia coli</i>	~5×10 <sup>2</sup>	D <sub>60</sub> =3.6	5
	<i>Salmonella</i> spp.		D <sub>55</sub> =10	4~7
	<i>Cl. botulinum</i> spore		D <sub>121.1</sub> =0.2	10
Film yeast	<i>Hansenula</i>		D <sub>65.5</sub> =1.0	4.4~5.6
	<i>Pichia</i>		D <sub>54</sub> =5.0	
Aerobic spore forming bacteria	<i>Bacillus cereus</i> spore		D <sub>121.1</sub> =0.0065	7.8~10
	<i>Bacillus subtilis</i> spore	10 <sup>4</sup>	D <sub>121.1</sub> =0.5	12
	<i>Bacillus subtilis</i> vegetative cell		D <sub>50</sub> =1.93	6.7
	other <i>Bacillus</i> spore		D <sub>100</sub> =0.1~D <sub>121</sub> =5.0	6.7~12.2

Sheet 1은 시스템을 실행하면 나타나는 시스템 초기 화면으로, 여기서 “클릭하세요” 버튼을 클릭하면 Sheet 6 화면으로 이동하게 된다(Fig. 2).

2) Sheet 6

먼저 측정하고자 하는 시간의 간격을 위해 시간 간격을 입력한다. 초기 시간간격은 0으로 초기화되어 있다. 시간간격이 입력되면 화면에 시간이 자동적으로 20개까지 세팅된다. 이를 기반으로 측정

된 온도 값을 입력할 수 있다. 이 시스템에서는 시간과 온도의 입력을 총 20개로 한정하고 있다. 시간과 온도를 입력한 후 L값의 변동 상황을 파악하기 위해 L값 결과보기 버튼을 클릭하면 Sheet 5로 이동하여 자세하게 볼 수 있다(Fig. 3).

(1) Data Reset 버튼

이 버튼을 선택하면 입력된 시간과 온도값이 모두 삭제되고 새로운 값을 입력할 수 있는 상태로

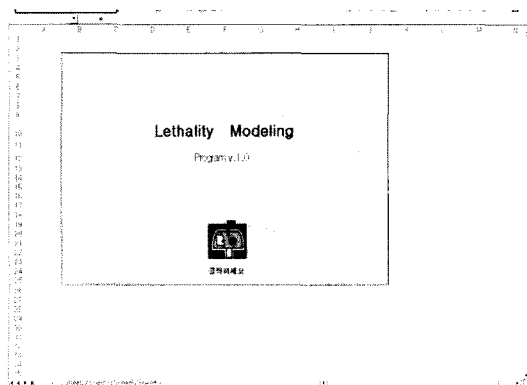


Fig. 2. Capture screen of sheet 1 of lethality modeling program.

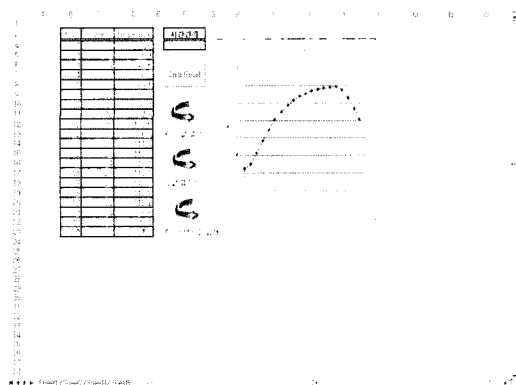


Fig. 3. Capture screen of sheet 6 of lethality modeling program.

전환된다.

(2) Fo/m값 결과보기 버튼

이 버튼을 선택하면 *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, Other 등 3가지 경우에 대한  $F_0$ 값과  $m$ 값이 계산되어진 화면인 Sheet 2로 이동한다. 시간간격을 입력한 후  $F_0/m$ 값 결과보기 버튼을 선택하면 시간 간격이 반영된  $F_0$ 값과  $m$ 값을 확인할 수 있다.

(3) Other M/O값 입력 버튼

이 버튼을 선택하면  $D_0$ 값과  $z$ 값을 입력할 수 있는 화면인 Sheet 3로 이동한다.

3) Sheet 5

시간과 온도를 입력한 후  $L$ 값의 변동 상황을 파악하기 위해  $L$ 값 결과보기 버튼을 클릭하면 Sheet 5로 이동한다. 이 시스템에서는 시간 및 온도의 변화에 따른  $L$ 값을 25개로 한정한다(Fig. 4).

(1) 저장 버튼

이 버튼을 선택하면 지금까지 작업한 모든 Sheet가 별도의 파일이름으로 저장된다. "파일명을 입력하십시오"라는 창이 나오면 저장될 파일이름을 입력하고 확인버튼을 누르면 된다.

(2) 시간/온도그래프 버튼

이 버튼을 선택하면 시간과 온도가 입력되었던 Sheet 6으로 이동하며 시간대비 온도의 그래프(Time/Temp.)가 나타난다. 그래프를 확대하려면 그래프를 선택하여 우측으로 늘리는 드래그 시행하면 된다.

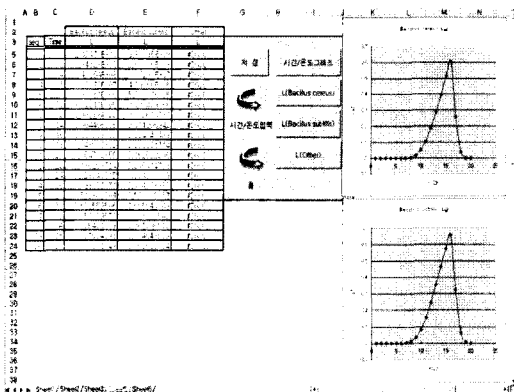


Fig. 4. Capture screen of sheet 5 of lethality modeling program.

(3) L(*Bacillus cereus*) 버튼

시간변화에 따른  $L$ (*Bacillus cereus*)값의 변화에 대한 그래프가 나타난다. 여기서도 그래프를 확대하려면 그래프를 선택하여 우측으로 늘리는 드래그 시행하면 된다.

(4) L(*Bacillus subtilis*) 버튼

시간변화에 따른  $L$ (*Bacillus subtilis*)값의 변화에 대한 그래프가 나타난다. 여기서도 그래프를 확대하려면 그래프를 선택하여 우측으로 늘리는 드래그 시행하면 된다.

(5) L(other) 버튼

시간변화에 따른  $L$ (Other)값의 변화에 대한 그래프가 나타난다.

(6) 시간/온도입력 버튼

이 버튼을 선택하면 새로운 시간과 온도의 입력을 위해 Sheet 6 화면으로 이동한다.

(7) 홈 버튼

이 버튼을 선택하면 시스템의 초기화면으로 이동한다.

4) Sheet 2

Sheet 6에서  $F_0/m$ 값 결과보기 버튼을 선택하면 나타나는 화면으로 *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, Other 등 3가지 경우에 대한 각각 입력된 범위에서의  $F_0$ 값과  $m$ 값이 계산된 화면이다(Fig. 5).

(1) Main 화면 버튼

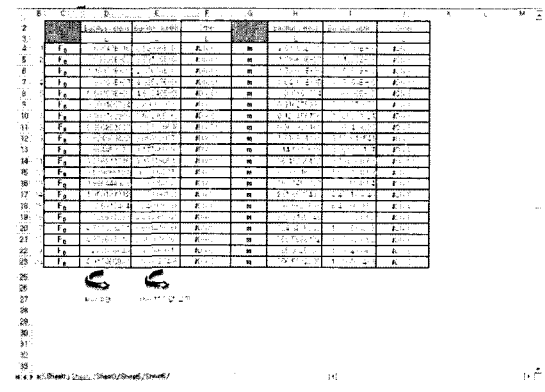


Fig. 5. Capture screen of sheet 2 of lethality modeling program.

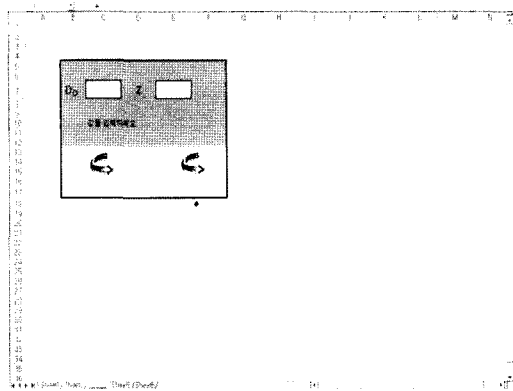


Fig. 6. Capture screen of sheet 3 of lethality modeling program.

이 버튼을 선택하면 Sheet 5로 이동하여 각종 그래프를 볼 수 있고, 저장도 가능하다.

#### (2) Other M/O값 입력 버튼

다른 미생물의 값을 입력하기 위해 이 버튼을 선택하면  $D_0$ 값과  $z$ 값을 입력할 수 있는 화면인 Sheet 3로 이동한다.

#### 5) Sheet 3

Sheet 2에서 Other M/O값 입력 버튼을 선택하면 나타나는 화면으로, 여기서는  $D_0$ 값과  $z$ 값을 변화시킨다.  $D_0$ 의 값을 변화시키고  $m$ 값을 보기 위해 "F<sub>0</sub>/m값 결과보기" 버튼을 선택하고, L(Other)값을 확인하기 위해 L값 결과보기 버튼을 선택한다(Fig. 6).

#### (1) F<sub>0</sub>/m값 결과보기 버튼

이를 이용하면 Sheet 6에서 "F<sub>0</sub>/m값 결과보기" 버튼을 선택하면 나타나는 화면과 동일하게 Sheet 2 화면이 나타나며, 역시 *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, Other 등 3가지 경우에 대한 F<sub>0</sub>값과  $m$ 값이 계산된다.

#### (2) L값 결과보기 버튼

이를 이용하면 Sheet 6에서 L값 결과보기 버튼을 선택하면 나타나는 화면과 동일하게 Sheet 5 화면이 나타나며, 이를 통해 L값의 결과를 자세하게 볼 수 있다.

## 요 약

가열살균 처리시의 온도값을 이용하여 다양한 미생

물들의 가열살균 효과를  $D$ 값,  $z$ 값 등의 미생물 내열성 특성치와 kinetic 모델 및 수식을 이용하여 살균치 계산을 컴퓨터를 이용하여 수행함으로써 target 미생물의 살균정도를 예측하고자, Excel과 Visual Basic을 연동하여 작성된 시스템으로 Excel을 기본으로 사용한 프로그램을 개발하였다. 가열살균 target 미생물을 선택하고자 야채식품을 기반으로 하는 식품에서의 미생물을 검토하여, 내열성인 가장 큰 호기성 포자형성균인 *Bacillus spp.* 계통이 산을 형성하여 맛 등의 품질을 저하시켜 변패를 유발하며, 위생적인 면에서 포자수를 줄이거나 사멸할 필요가 있어서 선택하였다. 병원성균 중에서  $D_{121.1}$ 이 0.0065분,  $z$ 값이 7.8°C인 *Bacillus cereus*와 부패현상 관련 균 중에서  $D_{121.1}$ 이 0.5분,  $z$ 값이 12°C인 *Bacillus subtilis*를 대상으로 해서 개발되었으며, 필요시에는  $D$ 값과  $z$ 값을 직접 대입하므로써, 여러 가지 미생물에 대해서도 적용이 가능하게 하였다.

## 참고문헌

1. Leniger, H.A. and Beverloo, W.A. : Food Process Engineering. D. Reidel Pub. Co., Dordrecht-Holland, Boston, USA, p.304(1975)
2. 박원수 : 식품살균기술의 현황. *식품과학과 산업*, **33**(2), 2~11(2000)
3. 신동화 : 레토르트식품의 미생물 살균이론. *식품과학과 산업*, **16**(1), 37~41(1983)
4. Koh, H.Y. and Park, M.H. : Effects of sterilization temperature and internal air volumes of a pouch on the quality of retort rice. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, **22**(2), 150-154(1990)
5. Pyun, Y.R., Shin, S.K., Kim, J.B. and Cho, E.K. : Studies on the heat penetration and pasteurization conditions of retort pouch Kimchi. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, **15**(4), 414~420 (1983)
6. Lee, S.Y., Chun, B.I. and Lee, S.K. : Computer simulation for optimal conditions of high temperature sterilization of cooked rice packed in retort pouch. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, **17**(3), 136~140(1985)
7. Cho, Y.B., Lim, J.Y. and Han, B.H. : Optimal sterilizing condition for canned ham. *J. Kor. Soc. Food Nutr.*, **25**(2), 301~309(1996)
8. Saguy, I. and Karel, M. : Optimal retort temperature profile in optimizing thiamine retention in conduction type heating of canned foods. *J. Food Sci.*, **44**, 1485(1979)
9. Gil, G.H., Kim, K.H. and Chun, J.K. : Thermal process evaluation and simulation in a pilot scale Kimchi pasteurizer. *J. Kor. Agr. Chem. Soc.*, **27**(2), 55~63(1984)
10. 길광훈, 김공환, 전재근 : Pilot scale 김치 순간살균장치에

서의 살균효과 분석 및 simulation. *한국농화학회지*,  
27(2): 55-63(1984).

11. 변유량 등 : 현대 식품공학, 지구문화사, 서울, p.244-254  
(2002)

---

(2003년 7월 25일 접수)