

포장식품의 레토르트 공정

정동화

강릉대학교 해양생명공학부

Retort Processing of Packaged Foods

Donghwa Chung

Faculty of Marine Bioscience and Technology, Kangnung National University

Abstract Packaged food products often undergo retort processing, a thermal processing in a pressurized vessel called a retort, to ensure their microbiological safety or shelf-stability under normal non-refrigerated conditions of storage and distribution. Retort processing is generally aimed to accomplish commercial sterility of packaged foods with acceptable nutritional and sensorial qualities. Fundamental principles on retort processing, such as thermal resistance kinetics of target microorganism, heat penetration theory, and methods for evaluating process sterility and food quality loss, were reviewed. Factors affecting process severity, heat transfer mechanism, and heat penetration efficiency were summarized. General features of retortable packaging formats including metal cans, glass jars, and plastic packages were also briefly reviewed.

Key Words Retort processing, Packaged foods, Heat penetration, Sterilizing value, Cook value

서 론

일반적으로 열에너지를 이용하여 식품을 가열, 살균하는 것을 가열공정(thermal processing)이라 하며, 특히 레토르트(retort)라 불리는 압력용기를 사용하는 가열공정을 레토르트 공정(retort processing)이라고 한다. 한편 레토르트 포장(retort packaging)이라는 용어는 포장재에 식품을 채운 후 밀봉하여 레토르트 공정으로 살균하는 일련의 공정을 의미하며, 이는 레토르트 공정을 위해 고안된 포장포맷(packaging format)을 일컫는 용어와 흔히 혼용되어 사용되고 있다. 레토르트 공정은 타 가열공정과 마찬가지로 가열, 살균온도유지, 냉각의 연속과정으로 이루어지며, 이의 최종 목적은 소비자가 받아들일 수 있는 영양학적, 관능적 품질을 유지하면서 미생물학적으로 안전한 포장식품을 제조하는 것이다 (Holdsworth, 1997). 레토르트 공정은 일반적으로 제품이 상업적 살균도(commercial sterility)에 도달할 때까지 실시되는데, 이러한 살균도는 냉장이 아닌 실온 저장 및 유통 상태에서 식품을 부패시킬 수 있는 미생물뿐만 아

니라 공중보건을 해칠 수 있는 병원성균체나 그 포자가 가열공정에 의하여 사멸된 상태를 말한다 (FDA, 2006).

레토르트 공정의 설계와 효율평가는 다음 세 가지 단계에 따라 실시된다. 첫째, 살균의 표적이 되는 미생물(target microorganism)의 열저항 카이네틱스(thermal resistance kinetics)를 평가하여 F_0 값(F_0 -value)을 결정한다. F_0 값은 고정된 표준온도(약산성식품의 캔 공정의 경우 보통 121.1°C 혹은 250°F)에서 식품을 가열할 때 온도가 가장 느리게 증가하는 부분인 냉점(cold point)에서 표적미생물의 개체수가 식품위생에 안전한 수준까지 감소되는데 소요되는 최소살균시간으로 정의된다 (Chung et al., 2006). 둘째, 레토르트 공정 중 식품냉점의 시간에 따른 온도변화를 측정하여 열침투곡선(heat penetration curve)을 작성하고 f 값(f -value), j 값(j -value) 등의 열침투계수를 결정한다. 셋째, 해당 레토르트 공정의 F_p 값(F_p -value)을 계산하고 이를 F_0 값과 비교하여 공정을 평가하고 최적화한다. 이때 공정 후의 식품품질의 변화도 함께 고려되어야 한다. F_p 값은 공정치사율(process lethality) 혹은 공정살균값(process sterilizing value)이라고도 불리며, 실제 레토르트 공정에 의한 식품냉점에서 표적미생물에 대한 치사효과와 같은 치사효과를 나타내기 위하여 고정된 표준온도에서 냉점을 가열할 때 소요되는 가열시간을 의미한다 (Chung et al., 2006). 따라서 총

†Corresponding Author : Donghwa Chung
Faculty of Marine Bioscience and Technology, Kangnung National University, Gangneung, Gangwon 210-702, Korea
E-mail : <dchung68@kangnung.ac.kr>

분한 상업적 살균도를 얻기 위해서는 식품품질이 용인되는 한도 내에서 F_p 값이 F_0 값보다 충분히 크도록 레토르트 공정을 설계하여야 한다.

레토르트 공정에 사용할 수 있는 포장포맷은 필링(filling)과 밀봉 공정, 공정 후 취급, 사용자 편의성, 소비자 인식, 진열형태, 가격 인하 등의 개선을 목적으로 활발하게 개발되어 왔다 (May, 2004). 전통적으로는 금속캔(metal can)이나 유리병(glass jar)이 주로 사용되어져 왔는데, 요즘에는 레토르트 파우치(retort pouch), 레토르트 트레이(retort tray), 테트라 리카트(Tetra Recart) 등과 같은 다양한 유연(flexible) 혹은 반경화(semi-rigid) 플라스틱 포장포맷의 수요가 빠르게 증가하고 있다. 플라스틱 포장포맷의 가장 큰 장점은 기존 포장포맷을 사용했을 때 보다 살균 후 식품의 초기품질을 훨씬 우수하게 유지할 수 있다는 것인데, 이는 플라스틱 포장의 경우 내부 부피에 대한 표면적의 비율이 높아 빠른 열전달이 가능하므로 식품으로의 열침투량과 가열시간을 줄일 수 있기 때문이다 (Brody, 2006; Reeves, 2006). 본 논문에서는 품질 손실을 최소화 하면서 미생물학적으로 안전한 포장식품을 생산하기 위한 레토르트 공정의 디자인에 필수적인 기초이론을 정리하여, 포장식품의 레토르트 공정에 대한 이해와 적용의 폭을 넓히고자 하였다.

본 론

1. 미생물의 열저항 카이네틱스

일정한 온도에서 가열할 때 식품에 존재하는 표적미생물의 사멸속도는 일반적으로 다음의 1차 반응 모델로 간단하고 효과적으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{dN}{dt} = -k_i N \quad (1)$$

식에서 N 은 식품 내의 표적미생물의 농도이고 k_i 는 주어진 가열온도에서 식품 내 표적미생물의 사멸속도상수(inactivation rate constant)이다. 이 식을 이용하여 일정한 가열온도에서 식품 내 표적미생물의 사멸정도를 나타내는 D 값(D -value, decimal reduction time)을 계산할 수 있는데, 이 값은 주어진 가열온도에서 식품의 표적미생물 농도를 90% 감소시키기 위해 필요한 가열시간으로 정의되며 다음의 식으로 표현된다.

$$D = \frac{t_2 - t_1}{\log N_{t_2} - \log N_{t_1}} \quad (2)$$

식에서 N_t 는 시간 t 에서의 식품 내 표적미생물 농도이며, 식 (1)과 (2)를 비교하면 D 값은 $2.303/k_i$ 와 같음을 알 수 있다. 따라서 레토르트 공정의 살균정도를 결정하는 기준이 되는 F_0 값은 다음의 식으로 계산될 수 있다.

$$F_0 = -D_0 \log \frac{N_c}{N_0} \quad (3)$$

식에서 D_0 는 표준가열온도에서 표적미생물의 D 값이며 N_0 , N_c 는 각각 초기 및 살균 후 식품 내 표적미생물 농도이다. 온도에 따른 표적미생물 사멸속도의 변화는 보통 z 값(z -value, thermal resistance constant)으로 나타내는데, 이 값은 D 값을 10배 단축시키는데 필요한 온도 상승 값으로 정의되며 다음의 식으로 표현될 수 있다.

$$z = \frac{T_2 - T_1}{\log D_{T_2} - \log D_{T_1}} \quad (4)$$

식에서 D_{T_1} 는 온도 T_1 에서 표적미생물의 D 값을 나타낸다.

2. 레토르트 공정 중 식품으로의 열침투

1) 열침투계수의 측정

회분식(batch-type) 레토르트 공정 중 냉점의 온도(T)는 일반적으로 Fig. 1에 나타난 바와 같이 변화한다. 그림에서 T_{hm} 은 가열매체의 온도, T_0 는 식품의 초기온도, T_1 은 가열단계 직후 식품냉점의 온도, 그리고 t_{cu} 는 레토르트의 초기 가열조절시간 (come-up time)이다. 이를 바탕으로 작성된 열침투곡선은 가열단계의 경우 보통 Fig. 2에 나타난 바와 같으며, 곡선의 직선부분은 열침투계수인 f_h 와 j_h 값을 포함한 다음의 식으로 표현한다.

$$\log(T_{hm} - T) = -\frac{t}{f_h} + \log[j_h(T_{hm} - T_0)] \quad (5)$$

식에서 $-1/f_h$ 는 직선부분의 기울기이며 j_h 는 가열단계의 보정계수(lag factor)로서 다음과 같이 정의된다.

$$j_h = \frac{T_{hm} - T_{hs}}{T_{hm} - T_0} \quad (6)$$

식에서 T_{hs} 는 Fig. 2에 나타나 있듯이 열침투곡선의 직선부

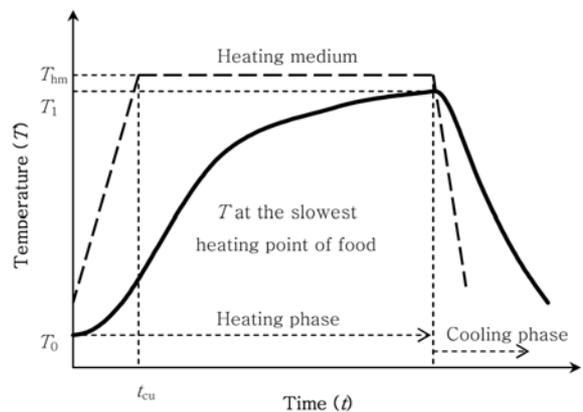


Fig. 1. Typical time-temperature profiles in a batch retort processing (adapted from Chung et al., 2006)

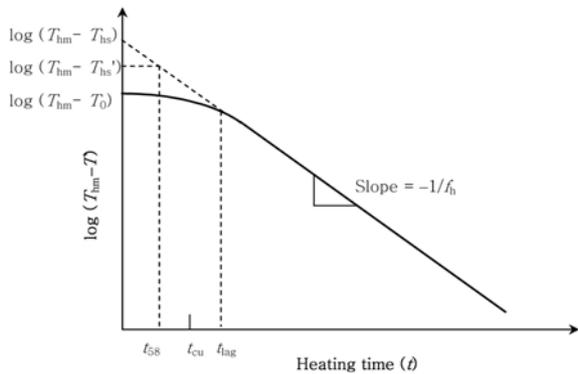


Fig. 2. Typical heat penetration curve for heating phase (adapted from Chung et al., 2006)

분을 가열시작시점까지 외삽하여 계산한 식품의 의사초기 온도(pseudo-initial temperature)이다. Fig. 2에서 t_{lag} 는 직선부분이 시작되는 시점까지 소요되는 시간으로 가열조절 시간(heating lag time)이라 불린다. 이 시간에는 고정온도 T_{hm} 에서 가열 시 소요되는 가열조절시간 뿐만 아니라 레토르트의 초기가열조절(come-up) 동안 발생한 가열조절시간도 포함되어있다. 따라서 고정 온도 T_{hm} 에서의 가열시간만을 계산할 때는 보통 t_{cu} 의 42%만을 가열시간에 포함시키는데(Ball과 Olson, 1957), Fig. 2의 t_{58} 은 이러한 이유로 설정된 새 가열시작시점이다. 이 시작시점을 기준으로 할 때 j_h 값은 Fig. 2에서 보듯 외삽에 의하여 다음과 같이 재정의 된다.

$$j_h = \frac{T_{hm} - T'_{hs}}{T_{hm} - T_0} \tag{7}$$

식에서 T'_{hs} 는 시간 t_{58} 까지 열침투곡선의 직선부분을 외삽하여 계산한 식품의 의사초기온도이다. 가열단계 후 이어지는 냉각단계의 열침투곡선은 냉매의 온도를 T_{cm} 이라 할 때 냉각시간에 따른 $\log(T - T_{cm})$ 의 변화를 나타낸 곡선이며, 그 형태는 가열단계의 열침투곡선과 매우 유사하여 냉각단계 열침투계수인 f_c 와 j_c 값을 포함한 다음의 식으로 표현한다.

$$\log(T - T_{cm}) = -\frac{t}{f_c} + \log[j_c(T_1 - T_{cm})] \tag{8}$$

$$j_c = \frac{T_{cs} - T_{cm}}{T_1 - T_{cm}} \tag{9}$$

식에서 T_{cs} 는 식품냉점의 의사가열후온도(pseudo-end temperature of heating phase)이며 이 값은 냉각단계의 열침투곡선의 직선부분을 가열단계 직후 시점까지 외삽하여 계산한다.

2) 열침투계수의 의미

열침투계수인 f 와 j 값의 물리적 의미는 두 가지 경우로

나누어 레토르트 공정을 해석해 봄으로서 알 수 있다. 첫째 경우는 주로 대류(convection)에 의한 열전달이 발생하는 유체식품의 레토르트 공정이다. 이 경우는 식품 내 온도구배(temperature gradient)를 무시할 수 있으므로 Schultz-Olson 모델을 이용하여 공정 중 식품냉점의 온도 변화를 예측할 수 있는데, 이 모델에서 도출된 가열단계의 열침투계수는 다음과 같다 (Holdsworth, 1997; Chung et al., 2006).

$$f_h = \frac{2.303 \rho V c_p}{UA} \tag{10}$$

$$j_h = 1 \tag{11}$$

식에서 ρ 는 식품의 밀도, V 는 식품의 부피, c_p 는 식품의 정압 비열, U 는 포장 내부 기준의 총괄 열전달 계수(overall heat transfer coefficient), 그리고 A 는 포장 내부의 표면적이다. 둘째 경우는 주로 전도(conduction)에 의한 열전달이 발생하는 고체식품의 레토르트 공정이다. 반지름이 a , 길이가 l 인 실린더형 포장식품이 표면 열전달 계수가 매우 큰 조건에서(즉 Biot number가 매우 큰 경우) 일정 온도 하에서 가열된다고 가정하자. 충분한 가열시간이 흘렀다고 가정하였을 때(즉 Fourier number가 충분히 큰 경우) 가열단계의 열침투계수는 다음과 같이 표현된다 (Holdsworth, 1997; Chung et al., 2006).

$$f_h = \frac{2.303}{\alpha \left[\left(\frac{P_1}{a} \right) + \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 \right]} \tag{12}$$

$$j_h = \frac{8 J_0(P_1 \delta)}{\pi P_1 J_1(P_1)} \sin(\pi \lambda) \tag{13}$$

식에서 J_0 와 J_1 은 각각 0차, 1차의 일차형(first kind) Bessel function, P_1 은 Bessel function의 첫 번째 해, 그리고 α 는 식품의 열확산계수(thermal diffusivity)이다. 또한 δ 는 r/a , λ 는 y/l 을 나타내는데, 여기서 r 과 y 는 각각 반지름 및 길이 방향으로의 좌표이다(중심부의 경우 $\delta = 0, \lambda = 0.5$). 식(10)과 (12)에서 보듯 f_h 값은 비열, 열확산 계수 등 식품의 열전달 성질과 식품의 크기에는 큰 영향을 받으나 식품 내의 위치와는 무관함을 알 수 있다. 열침투속도가 커질수록(즉 U 나 α 값이 커질수록) f_h 값은 작아지는데 이는 식(5)와 Fig. 2에서도 알 수 있다. 일반적으로 전도보다 대류에 의한 열전달 속도가 크므로 식(10)의 f_h 값(보통 4~11분)이 식(12)의 값(보통 20분 이상)보다 작으며, 가열보다 냉각 단계에서의 열전달 속도가 작으므로 f_h 값이 f_c 값보다 작다(Holdsworth, 1997). 식(11)에서 보듯 j_h 값은 식품 내부 열전달이 대류에 의해 발생 할 때는 고정 이론값 1을 가지며, 식(13)에 나타나 있듯 전도 열전달의 경우에는 온도가 측정

되는 식품 내 위치에 따라 그 값이 틀려지는데 중심부의 경우($\delta = 0, \lambda = 0.5$) 식(13)의 j_h 값은 2.0397이다 (Chung et al., 2006).

3. 레토르트 공정의 평가

1) 공정살균값(F_p 값) 측정

레토르트 공정 중 식품냉점의 온도(T)는 Fig. 1에서 보듯 시간에 따라 변화하므로 냉점에서의 표적미생물에 대한 치사효과 역시 시간에 따라 변화한다. 앞에서 설명한 바와 같이, F_p 값이란 레토르트 공정으로 얻을 수 있는 식품냉점에서의 총 치사효과와 동일한 치사효과를 나타내기 위하여 식품냉점을 고정된 표준온도(T_r)에서 가열할 때 필요한 가열 시간으로 정의되며, 이는 수학적으로 다음의 식으로 표현된다 (Chung et al., 2006).

$$F_p = \int_0^L dt = \int_0^L 10^{\left(\frac{T-T_r}{z}\right)} dt \quad (14)$$

식에서 T_r 은 일반적으로 고온살균(sterilization)의 경우 115~130°C, 저온살균(pasteurization)의 경우 60~100°C 범위에서 설정되며 L 은 표적미생물의 치사율(lethal rate)로서 다음과 같이 정의된다.

$$L = \frac{F_0}{F_T} = \frac{D_0}{D_T} \quad (15)$$

식에서 F_0 와 F_T 는 각각 식품냉점을 온도 T_r 과 T 에서 가열할 때 냉점의 표적미생물 개체수를 식품위생에 안전한 수준까지 떨어뜨리는데 필요한 최소살균시간이며, D_0 와 D_T 는 각각 온도 T_r 과 T 에서의 표적미생물의 D 값이다.

식 (14)를 이용한 F_p 값의 계산에는 보통 일반법(general method), 해석법(analytical method), 공식법(formula method) 중 한 방법이 사용된다. 일반법은 공정시간에 따른 L 값의 변화를 나타낸 치사율곡선(lethal rate curve)을 작성하고, 이 곡선 아래의 면적을 치사율표(lethal rate paper) 혹은 Simpson's rule, Gaussian integration formula, trapezoidal rule 등에 기초한 수치계산법으로 계산하여 F_p 값을 구하는 방법이다 (Chung et al., 2006). 해석법은 열전달 이론에 기초하여 공정시간에 따른 식품냉점의 온도 변화를 모델링하고, 얻어진 온도모델을 식 (14)에 대입한 후 그 해(solution)를 수학적으로 구하여 F_p 값을 계산하는 방법이다. 이 방법의 예는 Hicks(1951), Hurwicz와 Tischer(1952), Holdsworth(1997) 등에 잘 나타나 있다. 공식법은 공정시간에 따른 식품냉점의 온도 변화를 식(5) 및 (8)과 같은 실험식(empirical formula)을 이용하여 모델링하고, 얻어진 모델을 식(14)에 대입하여 공식화 한 후 F_p 값을 계산하는 방법이다. 이 방법은 1923년 Ball에 의하여 처음 제안되었으며 이 후 Gillespy(1953), Jakobsen(1954), Ball과 Olson(1957),

Hayakawa(1970, 1971), Stumbo(1973) 등에 의하여 더욱 개발되었다. 미생물학적으로 안전한 상업적 살균을 위해서는 F_p 값을 F_0 값보다 충분히 크게 설정하여야 한다. 비록 식품의 종류에 따라 적절한 F_p 및 F_0 값을 설정하기 위한 몇 가지 기본적인 가이드라인이 정리되어 있으나(Holdsworth, 1997), 안전한 레토르트 공정을 위해서는 각 공정마다 개별적인 테스트를 실시하여 그 공정에 가장 적합한 값을 결정하는 것이 가장 좋은 방법이다.

2) 품질손실 평가

레토르트 공정 중 발생하는 식품품질의 손실은 일반적으로 질량평균조리값(mass-average cook value, C_s 값)을 사용하여 평가한다. 이 값은 공정 중 식품 내 표적품질속성(target quality attribute)의 평균농도의 감소와 동일한 감소효과를 나타내기 위하여 표준온도에서 가열할 때 필요한 가열시간으로 정의된다. 표적품질속성의 열분해 속도를 1차 반응 모델로 나타낼 수 있을 때 C_s 값은 다음과 같이 표현된다.

$$C_s = D_{co} \log\left(\frac{Rc_0}{c_e}\right) \quad (16)$$

식에서 c_0 와 c_e 는 각각 공정 전 및 후의 표적품질속성의 평균농도이며 D_{co} 는 표준온도에서 표적품질속성의 D 값이다. 또한 표준온도에서 일정시간(t) 가열한 후의 평균농도를 c 라고 할 때 R 은 시간에 따른 $\log(c/c_0)$ 의 변화를 도표화 하였을 때 나타나는 초기 곡선부분에 대한 보정계수(correction factor)이며 초기곡선부분이 없고 직선만 나타나는 경우 그 값은 1이다. 이론적으로 부피가 1인 식품의 평균품질보유율(average quality retention, c/c_0)은 다음의 식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\frac{c}{c_0} = \frac{R}{V} \int_0^C 10^{-\frac{C}{D_{co}}} \quad (17)$$

식에서 C 는 조리값(cook value, C 값)으로 불리며 다음과 같이 정의된다.

$$C = \int_0^T 10^{\frac{T-T_r}{z_c}} \quad (18)$$

식에서 z_c 는 표적품질속성의 z 값이며 이식은 F_p 를 나타내는 식(14)와 매우 유사하다. 일반적으로 미생물 살균에 대한 D 값이 품질속성의 열분해에 대한 D 값보다 크나 z 값의 경우는 그 반대이며, 가열온도가 10°C 상승할 때 마다 C 값은 보통 두 배가 증가하나 F_p 값은 10배 정도 증가한다 (Holdsworth, 1997). 레토르트 공정에 의한 품질손실에 대해서는 특별한 하한기준이 정해져 있지 않으며, 이는 일반적으로 제조사에서 판단하여 결정한다.

4. 레토르트 공정에 영향을 미치는 요인

올바른 레토르트 공정을 수행하기 위해서는 식품, 공정, 포장 등과 관련된 여러 요인들을 주의깊게 고려하여야 하는데, 그 이유는 이러한 요인들이 레토르트 공정의 목표수준(F_0 값), 열전달 속도 및 메카니즘, 열침투효율 등에 커다란 영향을 미치기 때문이다.

1) 식품요인

식품의 pH는 레토르트 공정의 F_0 값을 결정할 때 매우 중요하게 고려되어야 하는 기준 중의 하나이다. 식품은 pH에 따라 산성식품(acid foods), 산성화식품(acidified foods), 약산성식품(low acid foods) 등 세 부류로 나눌 수 있는데, 산성식품은 pH가 4.6 이하인 식품을, 산성화식품은 산이나 산성식품이 첨가된 약산성식품으로서 pH가 4.6이하이고 수분활성도(water activity)가 0.85보다 큰 식품을, 약산성식품은 알코올 음료를 제외하고 pH와 수분활성도가 각각 4.6 및 0.85보다 큰 식품을 말한다 (FDA, 2003). 대표적인 식품 병원성균 중의 하나인 *Clostridium botulinum*은 열안정성이 뛰어난 혐기성 세균으로서 많은 레토르트 공정에서 표적미생물로 간주되는데, 산성 혹은 산성화식품에서보다 약산성식품에서 그 성장이 매우 활발하다. 따라서 약산성식품의 경우 일반적으로 botulinum cook이라 불리는 높은 수준의 레토르트 공정을 사용하는데, 이는 *C. botulinum*개체수를 12D 만큼 감소시킬 수 있는 공정을 의미하며 이를 위하여 보통 표준온도 121.1°C에서 3분의 F_0 값을 설정한다. 식품의 열전달 성질도 충분히 고려되어야 하는데, 위에서 보았듯이 f_h 값은 식품의 열확산계수가 커질수록 작아지고 식품의 비열이 커질수록 커진다. 식품의 상(phase)이나 유변학적(rheological) 성질도 매우 중요한데, 이에 따라 열전달 메카니즘(전도, 대류 등)과 열전달 속도가 달라지기 때문이다 (Jackson과 Olson, 1940). 미생물의 성장을 저해할 수 있는 아질산염(nitrite), 염류, 당류, 미생물 저해제 등 식품첨가물의 양도 레토르트 공정에서 잘 고려되어야 한다 (Chung et al., 2006). 식품의 초기온도 역시 잘 고려되어야 하는데, 이는 초기온도가 높을수록 공정시간과 f_h 값이 작아지며 j_h 값이 커지기 때문이다 (Chung et al., 2006).

2) 공정요인

회전식 레토르트 시스템은 유체식품의 내부 열전달을 가속시켜 f_h 값을 감소시킬 수 있으며, 가열매체와 접해있는 식품포장 표면의 열전달 속도를 크게 하여 f_h 값을 감소시키고 j_h 값을 증가시킬 수 있다. 식품포장 표면의 열전달 속도는 가열/냉각매체의 종류에 따라 그 차이가 많은데, 포화스팀(saturated steam), 끓는물, 개스화염(gas flame)과 같은 가열매체는 매우 빠른 표면 열전달을 가능케 한다. 레토르트 공정에 사용되는 여러 가열/냉각매체의 표면열전달계수

(surface heat transfer coefficient)의 실험값은 Holdsworth (1997)에 잘 정리되어 있다. 또한, 당연한 설명이지만 가열매체의 온도가 높을수록 공정시간과 f_h 값이 감소하고 j_h 값이 증가한다.

3) 포장요인

포장재의 열전도도가 클수록, 표면적이 넓을수록, 두께가 얇을수록 레토르트 공정 중 열침투가 가속되므로 f_h 값이 감소하고 j_h 값이 증가한다. 또한 포장재의 재질에 따라 사용가능한 가열매체가 결정되므로 공정 중 표면 열전달 속도가 달라지게 된다. 금속캔의 경우 모든 종류의 가열매체가 사용가능하며, 유리병의 경우 보통 포화스팀, 스팀/공기 혼합물, 열수 등이 사용가능하며, 레토르트 파우치나 트레이의 경우 일반적으로 스팀/공기 혼합물과 열수가 가열매체로 많이 사용된다. 또한 포장 형태(shape)에 따라 f 값과 j 값이 달라지며 (Olson과 Jackson, 1942), 앞에서 설명하였듯이 f 값은 포장식품의 크기(size)에 큰 영향을 받는다. 유동성 포장식품의 경우 내부 열전달은 포장 내부의 빈 공간(headspace)의 부피에 큰 영향을 받는다.

5. 레토르트 포장포맷

레토르트 공정에 사용되는 식품포장은 무엇보다 먼저 높은 온도와 강한 내부압력에 견딜 수 있어야 한다. 공정에 따라 틀리지만 가열매체의 온도는 135°C까지 올라가기도 하며, 액상 식품성분의 기화, headspace 기체의 팽창 등으로 인한 포장 내부압력의 증가는 식품포장의 변형과 파괴를 유발하기도 한다. 플라스틱 포장재의 경우 보통 0.1~0.5 kg/cm²의 내압에 견딜 수 있게 제조된다 (May, 2001). 이와 같은 기본적 요건을 충족하는 포장에 한하여 사용자 편의성, 경제성, 포맷 디자인 등을 고려하여 최종적으로 포장포맷을 결정한다. 사용자 편의성을 향상시키기 위해서는 개봉편의성(openability), 마이크로웨이브 가능성(microwaveability), 취급용이성(handling easiness) 등을 우선적으로 고려하여야 한다. 경제성을 위해서는 포장재의 사용량 감소를 제일 먼저 고려하여야 한다 (May, 2004). 포장포맷의 디자인은 레토르트 식품에 대한 소비자의 인식을 증진시킬 수 있도록 개발되어야 한다 (May, 2004). 레토르트 포장포맷은 그 재료에 따라 금속캔, 유리병, 플라스틱 포장(플라스틱이 주요 재료인 캔, 파우치, 트레이) 등 세 가지 부류로 나눌 수 있다.

1) 금속캔

금속캔은 레토르트 포장포맷의 가장 대표적 부류이며 세계 연간 소비량은 1600억 개 이상으로 알려져 있다 (May, 2004). 대부분의 금속캔은 두 개 혹은 세 개의 금속 피스로 구성되어 있는데, 주석 도금된 강철, 옷칠된 크롬 코팅 강철, 혹은 알루미늄 합금이 주로 사용된다 (Robertson,

1993; Brody, 2002; Chung et al., 2006). 금속캔의 가장 큰 장점은 압력이나 충격에 매우 강하고 높은 열에도 안정하며 이중봉합(double-seam) 등으로 인한 단단한 구조를 가진다는 것이다. 금속캔 포맷의 최근 몇 가지 중요한 경향은 다음과 같다 (Brody, 2002; May, 2004): (1) 캔 윗부분에 원형의 홈을 파놓아 텡을 당겼을 때 쉽게 열리는 형태, (2) 보호캡을 열고 캔에 열봉합(heat-seal)된 유연 포일을 벗겨내는 형태, (3) 납땀(soldering)보다는 용접(welding)을 이용한 캔, (4) 봉합부위의 충격을 완화하고 비용절감을 하기 위한 necked-in 디자인, (5) 유기용매성 코팅을 수용성 코팅으로 전환, (6) 실린더 형태 이외의 다양한 포맷 디자인.

2) 유리병

유리병은 포장된 식품을 시각적으로 보여주어야 할 때나 맛과 풍미의 변질을 최소화하며 식품을 장기보존 해야 할 경우 매우 훌륭한 포장포맷으로 사용된다. 그러나 공정 중 충격에 의하여 유리병이 깨지기 쉽고 이 경우 식품에 유리 조각이 포함될 수 있으므로 매우 조심스럽게 공정을 감독하여야 한다 (May, 2004). 따라서 유리병 레토르트 포장식품의 생산속도는 금속캔 생산속도에 비하여 매우 느리다. 또한 유리병은 타 포장포맷에 비하여 무거우며 headspace의 진공 등으로 인하여 뚜껑을 열기가 용이하지 않으므로 사용자 편의성의 향상이 시급히 요구된다 (May, 2004).

3) 플라스틱 포장

최근 레토르트 파우치(retort pouch), 레토르트 트레이(retort tray)/병(bottle)/캔, 테트라 리카트(Tetra Recart) 등 다양한 유연(flexible) 혹은 반경화(semi-rigid) 플라스틱 포장포맷이 레토르트 공정을 위해 개발되고 있으며, 이와 관련된 기술은 이제 식품저장 및 포장에 필수적으로 인식되고 있다 (Brody, 2006). 플라스틱 레토르트 포장의 장점은 다른 전통 포장포맷에 비하여 공정 후 식품의 품질, 사용자 편의성, 시각성, 디자인, 전반적 소비자 인식 등이 훨씬 우수하다는데 있다. 그러나 플라스틱 포장식품을 전통 포장식품에 필적할 만큼 안전한 수준으로 레토르트 공정을 수행 할 수 있는가하는 점은 아직 확실히 밝혀지지 않았다 (Brody, 2003). 현재, 레토르트 플라스틱 포장식품의 가장 큰 부분은 애완동물 사료가 차지하고 있고 그다음은 군용 및 구호식량이며, 일반 식품 중에서는 해산물이 가장 큰 비중을 차지하고 있다 (Brody, 2006).

레토르트 파우치는 식품을 넣고 밀봉한 후 일반 금속캔 제조에 사용되는 12D 레토르트 공정으로 살균하였을 때 그 성질과 형태가 안정하여, 미생물학적으로 안전한 포장식품의 실온 유통을 가능하게 해 주는 유연 플라스틱 포장포맷을 말한다 (Brody, 2006). 레토르트 파우치는 몇 가지 물질을 적층(lamination)하여 제조하는데, 식품의 장기보존용

파우치는 일반적으로 다음과 같은 네 겹의 구조로 만들어져 있다 (May, 2004). 가장 바깥쪽 층은 열 및 충격으로부터 내용물을 보호하고 인쇄를 할 목적으로 polyethylene terephthalate(PET)를, 두 번째 층은 산소, 수분 및 빛의 차단을 위하여 알루미늄 포일을, 세 번째 층은 구멍 등이 생기지 않도록 포장에 탄성을 주기 위하여 2축연신 나일론(biaxially oriented nylon)을, 식품과 접촉하는 가장 안쪽 층은 cast polypropylene(PP)와 같은 열봉합이 가능한 플라스틱을 사용한다. 투명 레토르트 파우치의 경우 알루미늄 층 대신 유연 실리케이트(silicate)나 유리층을 사용하여 기체와 수분을 차단한다 (May, 2004; Brody, 2006). 레토르트 공정 중 파우치의 내압 증가로 인한 포장의 파열이 예상되는 경우는 과압(overpressure) 레토르트 시스템을 사용하며, 봉합 안정성 및 핀홀(pinhole) 생성방지 등에 주의를 기울여야 한다 (May, 2004).

레토르트 트레이는 유연 플라스틱 혹은 포일 뚜껑으로 열봉합하여 밀봉할 수 있는 넓은 입구를 가진 반경화 플라스틱 트레이, 컵, 사발 등을 말한다 (May, 2004; Brody, 2006). 이 포장포맷은 일반적으로 접합층(tie layer)과 함께 PP/ethylene vinyl alcohol(EVOH) 혹은 polyvinylidene chloride(PVDC)/PP의 적층 구조로 이루어져 있다 (May, 2004). 레토르트 병은 보통 적층된 PP/EVOH를 블로성형(blow molding)하여 제조하며 포일이 적층된 뚜껑으로 열봉합하여 밀봉한다.

테트라 리카트는 테트라 팩(Tetra Pak)에서 생산하는 레토르트 용 판지상자(carton)로서 알루미늄 포일이 적층되어 있고 천공이지오프(perforated easy open) 특징이 있으며, 120-130°C에서 운용되는 과압 레토르트에서 약 2시간 정도까지 견딜 수 있다 (May, 2004). 일반 실린더형의 금속캔과 비교하였을 때 테트라 리카트는 다음과 같은 장점이 있다 (May, 2004). 우선 사각형 상자이므로 진열 및 유통과정 중 적은 공간에 많은 제품을 쌓을 수 있으며, 고급 인쇄가 가능하고 인쇄내용을 알리기 용이하며, 비록 포일층은 천공되어 있지 않지만 박스는 레이저로 천공되어 있으므로 쉽고 안전하게 개봉할 수 있다. 그러나 다른 포맷에 비하여 기체차단효과가 좋지 않아 이 포맷으로 포장된 식품의 유통기간은 길어야 24개월 정도에 불과하다 (May, 2004).

결론

포장식품의 레토르트 공정은 식품을 포장한 후 레토르트 시스템을 이용하여 상업적 살균도까지 살균하여 실온 저장 및 유통 시 미생물학적으로 안전한 포장식품을 생산하는 가열공정을 말한다. 따라서 올바른 레토르트 공정을 설계하기 위해서는 가열공정 중 미생물의 사멸속도, 포장식품과 가열/냉각매체 사이의 열전달 속도, 공정의 살균수준 평가방법

등의 이론에 대한 깊은 고찰이 필요하다. 이러한 가열공정에는 식품품질의 저하가 수반되는데, 품질저하를 줄이기 위한 유일한 방법은 열침투 속도를 증가시켜 보다 짧은 가열 시간동안 목표수준까지 살균하는 것이다. 따라서 가열공정 중 식품품질의 변화에 대한 이론을 비롯하여 열침투 속도 및 살균도에 영향을 미치는 식품, 공정, 및 포장에 관계된 다양한 요인들 역시 깊이 고찰되어야 한다. 이러한 이론의 고찰과 레토르트 용 포장포맷의 안정성, 사용자 편의성, 경제성, 디자인, 및 장단점에 대한 이해가 함께 이루어져야 비로소 안전하며 시장성이 뛰어난 레토르트 포장식품을 생산할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI05-01-02) 지원으로 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Ball, C. O. 1923. Thermal process time for canned foods. Bulletin No. 37, National Research Council, Washington, DC, USA.
- Ball, C. O., Olson, F. C. W. 1957. Sterilization in Food Technology-Theory, Practice and Calculations. McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- Brody, A. L. 2002. Food canning in the 21st century. *Food Technology*, 56(3) : 75-79.
- Brody, A. L. 2003. The return of the retort pouch. *Food Technology*, 57(2) : 76-79.
- Brody, A. L. 2006. Retort pouches and trays: A growing market. *Food Technology*, 60(4) : 82-85.
- Chung, D., Papadakis, S. E., Yam, K. L. 2006. Thermal processing of packaged foods. In Handbook of Food Science, Technology, and Engineering (vol. 3). Y.H. Hui (ed.). CRC Press, Boca Raton, FL, USA. pp.134.1-134.9.
- FDA. 2003. Acidified foods. 21CFR114, U.S. Food and Drug Administration, Rockville, MD, USA.
- FDA. 2006. Thermally processed low-acid foods packaged in hermetically sealed containers. 21CFR113, U.S. Food and Drug Administration, Rockville, MD, USA.
- Gillespy, T. G. 1953. Estimation of sterilizing values of processes as applied to canned foods. II Packs heating by conduction: complex processing conditions and value of coming-up time of retort. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 4 : 553-565.
- Hayakawa, K. 1970. Experimental formulas for accurate estimation of transient temperature of food and their application to thermal process evaluation. *Food Technology*, 24 : 1407-1418.
- Hayakawa, K. 1971. Estimating food temperatures during various heating and cooling treatments. *Journal of Food Science*, 36 : 378-385.
- Hicks, E. W. 1951. On the evaluation of canning processes. *Food Technology*, 5 : 134-142.
- Holdsworth, S. D. 1997. Thermal Processing of Packaged Foods. Blackie Academic & Professional, London, UK.
- Hurwicz, H., Tischer, R. G. 1952. Heat processing of beef. I. A theoretical consideration of the distribution of temperature with time and in space during processing. *Food Research*, 17 : 380-392.
- Jackson, J. M., Olson, F. C. W. 1940. Thermal processing of canned foods in tin containers. IV. Studies of the mechanisms of heat transfer within the container. *Food Research*, 5(4) : 409-420.
- Jacobsen, F. 1954. Note on process evaluation. *Food Research*, 19 : 66-79.
- May, N.S. 2004. Developments in packaging formats for retort processing. In Improving the Thermal Processing of Foods. P. Richardson (ed.). CRC Press, Boca Raton, FL, USA. pp.138-151.
- Olson, F.C.W., Jackson, J.M. 1942. Heating curves. Theory and practical application. *Industrial and Engineering Chemistry*, 34 : 337-341.
- Reeves, C. 2006. Can you take the heat? *Food in Canada*. October: 24.
- Robertson, G. L. 1993. Food Packaging: Principles and Practice. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, USA.
- Stumbo, C. R. 1973. Thermobacteriology in Food Processing (2nd ed.). Academic Press, New York, NY, USA.