

스팀-에어 레토르트 온도분포에 미치는 공정 변수 영향

이선영 · 신해현¹ · 인예원 · 조형용*

차의과학대학교 식품생명공학과, ¹백석문화대학교 외식산업학부

The Effect of Various Processing Conditions on Temperature Distribution in Steam-air Retort

Sun-Young Lee, Hae-Hun Shin¹, Ye-Won In, and Hyung-Yong Cho*

Department of Food Science and Biotechnology, CHA University, Korea

¹Division of Foodservice Industry, Baekseok Culture University

Abstract

Temperature distribution studies were performed in steam-air retort to investigate the influence of various processing conditions (come-up time, sterilization temperature, and internal pressure throughout the steam-air retort). Retort temperature data were analyzed for temperature deviations during holding phase, maximum temperature difference between test locations at the beginning and after 1, 3, and 5 min of the holding phase, and box-and-whiskers plots for each location during the holding phase. The results showed that high sterilization temperature led to a more uniform temperature distribution than low sterilization temperature (pasteurization). In pasteurization condition, the temperature stability was slightly increased by increasing pressure during the holding phase. On the other hand, the temperature stability was slightly decreased in high sterilization temperature condition. Programming of the come-up phase did not affect the temperature uniformity. In addition, the slowest cold spot was found at the bottom floor during the holding phase in all conditions. This study determined that the temperature distribution is affected by retort processing conditions, but the steam-air retort needs more validation tests for temperature stability.

Key words: thermal processing, steam-air retort, temperature distribution

서 론

식품의 열처리는 식품의 유통기한 연장 기술이 적용되는 식품 산업에서 가장 중요한 보존 기술 중 하나이다(Smout et al., 2001). 열처리 살균방법은 가열온도에 따라 레토르트 살균, 고온단시간 살균(high-temperature short-time, HTST), 후살균(2차 살균), 저온살균, 블렌칭 등으로 구분된다. 이 중에서 고온, 고압 하에서 수 분에서 수십 분간 가열하여 F_0 값이 4 이상 되는 조건을 가하여 미생물, 포자류를 사멸시켜 저장성을 확보하는 레토르트 가열이 대표적인 열처리를 이용한 가공공정이다(Shin et al., 2003).

레토르트에는 가열매체에 따라 열수, 포화수증기, 수증기와 압축공기의 혼합 등을 사용하는 살균기로 분류할 수 있다. 열수를 사용하는 살균기는 살균온도까지 가열된 물을

통조림에 살수하여 살균을 행하는데 사용된 열수를 계속 순환시키므로 열전달효과를 높이고 있다. 반면에 포화수증기를 사용하는 살균기는 정치식으로 작동되어 열전달속도가 다소 느린 단점이 있으나 그 구조가 간단하여 소규모의 회분식 살균작업에 적합하여 각종 통조림식품의 살균에 널리 이용되고 있다. 금속 캔 대신에 유리병이나 레토르트 파우치와 같은 플라스틱 용기를 사용할 때는 가열시 용기 내부에 생기는 압력에 의해 용기의 변형이나 파손을 초래할 수 있는데, 이를 방지하기 위하여 수증기와 압축공기를 혼합한 스팀-에어 레토르트를 사용하여 내부에 일정한 압력을 가해 주어 통조림 내부에 발생하는 압력과 균형을 맞추어 줌으로써 용기의 변형을 방지할 수 있도록 설계가 되어있다(Pyun et al., 2014). 이 스팀-에어 레토르트는 포화수증기만을 사용하는 경우에 비해 내부의 온도조절이 비교적 까다로운 편이다. 특히 수증기와 공기를 충분히 혼합시키는 것이 중요하다. 공기가 지나치게 많으면 포장된 식품에 내용품의 열전달이 나빠져 살균효과가 저하된다. 반면에 지나치게 적으면 낮은 압력 변동으로 파단이 발생하게 된다(Pyun et al., 2014). 즉, 살균기의 능력은 살균기 내부의 온도가 얼마나 일정하게 제어되는가에 의

*Corresponding author: Hyung-Yong Cho, Department of Food Science and Biotechnology, College of Life Science, CHA University, Seongnam 11160, Republic of Korea
Tel: +82-31-881-7125; Fax: +82-31-881-7219
E-mail: hycho5710@hanmail.net
Received February 14, 2019; revised February 21, 2019; accepted March 30, 2019

해 결정(Chung et al., 1995)되는데, 미국의 NFPA (national food processor's association)와 IFTPS (institute for thermal processing specialists)는 레토르트 내의 온도편차가 1.7°C 이하를 권장한다. 이에 FDA에서는 스팀-에어 레토르트 제품을 검증 할 때, 가열매체를 혼합하는 방식 중 fan, bleeder가 아닌 다른 방식들은 온도 분포의 영향에 대한 추가 검증 자료로 권고하고 있다(FDA, 2014). 하지만 국내에서 주로 사용되고 있는 스팀-에어 레토르트의 시스템은 공기 주입식으로, 일정한 유속의 공기를 연속적으로 주입하여 가열매체를 혼합하는 방식이다.

국내에서 이용되는 공기 주입식 스팀-에어 레토르트의 시스템은 설정된 온도로 유지시키기 위해 보일러에서 레토르트 내부로 공급되는 수증기량을 비례밸브에 의하여 제어하고 있다. 또한 압축기에서 공급된 외부의 공기는 레토르트 내부에서 응축수의 배출과정에서 발생된 폐열과 열 교환하도록 하여 고온의 공기가 살균과정에서 레토르트의 내부로 지속적으로 공급되도록 되어있다(Han, 2006). 이 기기의 프로그램을 통한 공정변수에는 스팀온도, 내부압력, 승온시간(come-up time, CUT)이 있다. 따라서 이 스팀-에어 레토르트에서 공정동안 내부의 온도편차가 일정하게 제어되는지에 대한 검증이 필요하다. 검증의 방법에는 주로 온도분포실험이 레토르트 내부에서 가장 낮은 온도를 유지하는 위치인 냉점(cold spot)를 파악하기 위해서 수행되고, 열분포실험은 특히 레토르트 내에서 가장 낮은 치사율을 초래할 수 있는 위치인 냉점을 파악하기 위해 레토르트 내에 전체적으로 균일한 치사율을 통해 수행된다(IFTPS, 2014).

레토르트에서 열전달에 영향을 끼치는 요인들에 대한 여러 연구들이 보고되었다. Smout et al. (2001)의 연구에 따르면 열수식 레토르트에서 용기(container) 회전, 레토르트의 programming 등에 의해 제품의 안정성과 품질에 직접적인 영향을 미치고, 또한 열전달에도 영향을 끼친다고 보고하였다. Ramaswamy (1983)는 2종류의 수증기와 압축공기의 혼합물을 가열매체로 사용한 소형 스팀식 레토르트를 이용하여 가열 매체의 종류와 조성, 온도, 유속, 유향, 용기의 적재방향, 잔류 기체에 따라 열전달 계수에 영향을 미친다고 판단하였다. Kim & Yoon (2016)의 연구에 따르면 레토르트에서 내부 공간의 위치에 따라 스팀 또는 냉각수의 유입에 시간적 차이가 발생할 뿐만 아니라, 공간에서의 제품의 적재 위치에 따른 가열 매체나 냉각 매체의 유입에 따른 열전달 속도가 차이가 발생하게 되며, 이는 생산공간에 온도 편차를 유발하게 되어 결과적으로 불균질한 제품의 생산을 초래한다. 또한 이 연구에서는 내부 온도 구배의 발생으로 인해 최종 생산물의 조직감이 유의적인 차이를 나타낼 수 있음을 확인하였다. 이와 같이, 열수식 레토르트에 대한 온도분포에 관한 연구결과(Chung et al., 1995; Smout et al., 2000; Verga et al., 2000; Smout et

al., 2001; Varga et al., 2001; Kim et al., 2016)는 다수 보고되고 있고, 스팀식 레토르트에 대한 온도분포에 관한 연구결과(Ramaswamy, 1983; Berteli et al., 2012; Singh et al., 2015)도 몇몇 연구들이 보고되지만 공기주입식 스팀-에어 레토르트에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 공기 주입 방식을 이용하는 스팀-에어 레토르트의 공정변수(스팀온도, 내부압력, CUT)가 레토르트 내 각 위치별 온도분포에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

레토르트 시스템

본 실험에서 레토르트는 STERI-ACE (PRS-06-I, Kyunghan Co., Gyeongsan, Korea) 장비를 사용하였다. 레토르트의 전체적인 시스템은 Fig. 1에 나타내었다. 기기 내부에는 한 개의 대차로 이루어져 있고, 적재판이 7층으로 구성되어 있어, 각 층의 적재판에 6개의 1 kg 레토르트 파우치로 가득 채웠다. 레토르트 파우치(P0000BVB, Bongtuhaegyeolsa, Seoul, Korea)는 가로×세로(200×270 mm)의 1 kg 용으로 표면에서부터 폴리에스터(polyester, PET), 알루미늄 호일, 나일론, 폴리프로필렌(polypropylene, PP)의 4겹으로 구성된 것을 사용하였다. 각 파우치에는 승온구간 동안 고온의 열수요를 발생시키기 위해 물로 충전, 밀봉하여 사용하였다.

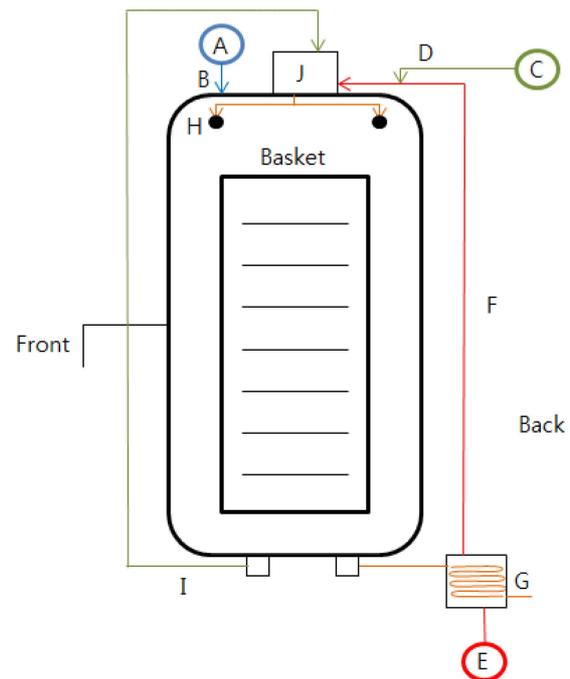


Fig. 1. Retort layout. A: water tank, B: cooling water inlet, C: steam boiler, D: steam inlet, E: air compressor, F: air inlet, G: heat exchanger, H: steam nozzle, I: steam recirculator, J: jet box (Mixing of C, E, H).

레토르트 내부 온도 측정

레토르트 내부의 온도 분포를 측정하기 위하여 교정된 온도센서(T-type)를 사용하였다. 측정 부위는 Fig. 2와 같이 7군데를 설정하여 각 위치에 센서를 설치하여 측정하였고, 온도는 기록계(KR2000, CHINO Co., Tokyo, Japan)에 의해 1초 간격으로 기록되었다. 온도측정은 수직(Fig. 2에서 A, B, C)과 수평(Fig. 2에서 D, E, F, G) 방향으로 나누어 각각 3회 반복 수행하였다. 이 때 온도센서는 센서에 형성되는 기포를 방지하기 위해 센서의 끝부분이 위로 향한 상태로 파우치의 측면에 부착하였다. 이는 레토르트 중심 온도를 기록할 때, 온도센서 끝부분이 파우치에 직접적으로 닿지 않고 가까이에 위치하도록 하였다. 공정구간(holding phase, HP) 동안 온도의 중위값, 위아래 사분위값은 상자-수염(box-whiskers) 방법(Otto N et al., 1999)을 이용하여 나타내었다.

스팀 온도 조절

스팀 온도의 조건은 물로 꽉 채운 레토르트 내에서 각 센서 위치별로 저온살균(82°C)과 고온살균(121°C)으로 스팀온도를 나누어 수행하였고, 기존 살균 조건은 Table 1에 나타내었다. 살균 공정은 모든 위치에서의 센서의 온도가 40°C일 때 진행하였으며, 각 온도분포실험은 3회 반복하였다.

내부 가압 조절

저온살균 조건에서는 기존 살균 조건(Table 1)에서 내부 압력을 0.3 bar에서 0.5 bar로, 고온살균 조건에서는 1.5 bar에서 1.7 bar로 조절하여 실험을 진행하였다.

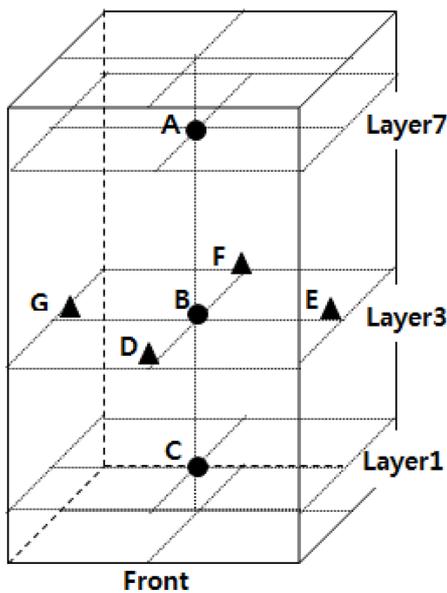


Fig. 2. Thermocouple location for temperature distribution test throughout steam-air retort.

승은시간(CUT) 조절

저온살균은 1단, 2단 살균의 온도가 크게 차이가 나지 않으므로 고온살균 조건에서만 CUT에 따른 영향을 비교하였고, 기존 살균 조건(Table 1)에서 1차 살균 시간이 10분일 때와 0분인 조건으로 실험하였다.

통계분석

센서 위치별 운전 조건에 따라 유의성을 검증하기 위하여 일원분산분석(one way ANOVA) 방법으로 분석하였고, 유의수준은 5% 이내에서 유의성을 검증하였다. 모든 통계 분석은 Minitab 16 statistical software (Minitab Inc., State College, PA, USA)을 사용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

스팀 온도 조절의 영향

스팀 온도 조절에 대한 영향은 스팀온도가 82°C인 저온살균과 121°C인 고온살균으로 조절하여 수행하였다(Table 1). Fig. 3에는 각 공정에서 공정구간(HP) 동안 온도의 중위값, 위아래 사분위값을 상자-수염도로 나타내었다. 이 상자들은 사분위의 상한값, 하한값 사이를 표시하고, 수평선은 레토르트 온도, 수직선은 최대 관측값과 최소 관측값을 연결하여 나타내었다. 또한 상자의 중위값은 레토르트 공정동안 온도가 가장 낮게 유지되는 위치인 냉점의 추정을 가능하게 하고, 사분위(사분위 상자의 크기)는 각 센서 위치에서 온도안정성을 나타낸다(Smout et al., 2001). 본 실험에서 저온살균과 고온살균의 모든 조건에서 수평방향에서는 센서 위치 F의 중위값이 가장 크고, 나머지 D, E, G 위치의 중위값이 비슷한 값을 나타내었다. 이는 운전 조건에 따라 수평방향에서 냉점은 변화하지 않고, 냉점은 레토르트 내부에서 맨 뒤쪽을 제외한 나머지 곳으로 볼 수 있었다. 수직방향에서는 또한 저온살균과 고온살균의 모든 조건에서 센서 위치 C의 중위값이 가장 작은값을 나타내

Table 1. Processing control conditions for temperature distribution tests

Pasteurization (82°C)	Condition		
	Time (min)	Temperature (°C)	Pressure (bar)
Venting	-	to 65	-
First steam	10	at 80	0.3
Second steam	20	at 82	0.3
Cooling water	10	at 20	0.5
Sterilization (121°C)	Condition		
	Time (min)	Temperature (°C)	Pressure (bar)
Venting	-	to 65	-
First steam	10	at 85	0.3
Second steam	20	at 121	1.5
Cooling water	10	at 20	1.7

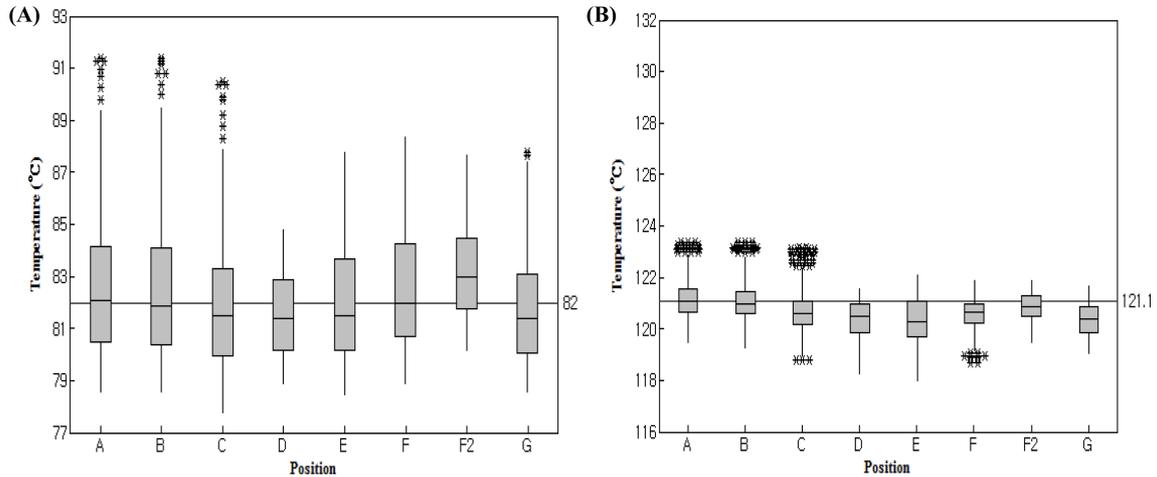


Fig. 3. Temperature stability and variability during the holding phase in pasteurization condition using (A) steam temperature 82°C, and sterilization condition using (B) steam temperature 121°C.

Table 2. Temperature deviation of each location during the holding phase

Condition ³⁾	Temperature deviation (°C)							
	A	B	C	D	E	F	G	
Pasteurization ¹⁾	C1	1.9±0.4 ^{aB}	1.9±0.5 ^{aB}	1.8±0.4 ^{aB}	1.7±0.3 ^{aB}	2.2±0.5 ^{aB}	1.7±0.5 ^{aB}	2.2±0.1 ^{aB}
	P1	2.0±0.4 ^{abB}	1.9±0.5 ^{abB}	1.7±0.4 ^{aB}	1.6±0.1 ^{aB}	2.5±0.1 ^{bbB}	1.9±0.5 ^{abB}	1.9±0.4 ^{abB}
Sterilization ²⁾	C2	0.5±0.2 ^{abA}	0.5±0.2 ^{abA}	0.6±0.2 ^{abA}	0.5±0.2 ^{abA}	0.7±0.1 ^{bA}	0.4±0.1 ^{aA}	0.6±0.0 ^{abA}
	P2	0.6±0.1 ^{aA}	0.7±0.1 ^{abA}	0.7±0.1 ^{abA}	0.6±0.1 ^{aA}	0.8±0.1 ^{bA}	0.6±0.1 ^{aA}	0.7±0.1 ^{abA}
	T2	0.4±0.1 ^{abA}	0.5±0.1 ^{abcA}	0.5±0.1 ^{bcA}	0.5±0.1 ^{abcA}	0.7±0.1 ^{dA}	0.4±0.1 ^{aA}	0.6±0.0 ^{cdA}

¹⁾Second steam temperature : 82°C.

²⁾Second steam temperature : 121°C.

³⁾Condition: C1: pasteurization in Table 1, P1: second steam pressure 0.5 bar in Table 1, C2: sterilization in Table 1, P2: second steam pressure 1.7 bar in Table 1, T2: first steam time 0 min in Table 1.

^{a-d)}Means in the same row and in the same temperature deviation not sharing a common letter are significantly different by Duncan's multiple test ($p<0.05$)

^{A-B)}Means in the same column and in the same temperature deviation not sharing a common letter are significantly different by Duncan's multiple test ($p<0.05$).

었고, 이는 수직방향에서 1층 부분이 냉점인 것을 추정할 수 있었다. 이러한 결과는 레토르트 바닥부분에 수증기와 공기가 설정조건에 따라 자동 조절되어 배기되는 배기구에 의해 공정구간 동안 1층의 센서 위치의 온도가 다른 위치보다 낮게 유지된다고 판단된다. 또한, 수평방향에서는 모든 조건에서 센서 E (1.4°C)와 G (1.0°C)위치의 상자가 다른 위치(0.6-0.8°C) 보다 상자의 크기가 커서 온도편차가 큰 것으로 볼 수 있었다. 이러한 결과는 공정구간 동안 센서 위치별 표준편차를 나타낸 Table 2에서도 관찰되었다. 저온살균의 C1 조건을 제외한 모든 조건에서 다른 위치에 비해 센서 E의 위치의 표준편차가 유의적($p<0.05$)으로 높은 값을 가지는 경향을 보였다. 이는 레토르트 내부에서 설정온도를 유지하기 위하여 양 옆쪽에 위치한 부분(E, G)에서 스팀이 주입되기 때문에 온도 편차가 더 큰 것으로 판단된다. 따라서 공정구간 동안 1층의 냉점의 위치와 레토르트 내부의 양 옆 위치를 주의해야 할 필요가 있다.

또한, Fig. 3에서는 고온살균(Fig. 3B)을 적용한 공정의 사분위 상자 크기가 저온살균(Fig. 3A)을 적용한 공정보다

더 작은 것을 볼 수 있었다. 이는 고온살균 조건이 저온살균 조건보다 공정구간 동안 온도의 변동이 작고, 더 균일한 온도분포를 가진다는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 공정구간 동안 센서 위치별 표준편차를 나타낸 Table 2에서도 관찰되었다. 스팀온도가 82°C인 저온살균 조건은 센서 위치에 따라 표준편차가 1.7-2.2°C 범위를 나타내었고, 121°C 고온살균 조건은 센서 위치에 따라 0.4-0.7°C의 범위로 스팀온도에 따른 유의적($p<0.05$)인 차이를 보였다. 이미 서론에서 언급한 바와 같이 미국의 NFPA와 IFTPS에서 권장하고 있는 레토르트 내의 온도편차가 1.7°C 이하임을 감안할 때(NFPA, 1985), 고온살균 조건의 경우에는 이 기준을 만족하였지만 저온살균 조건의 경우에는 이를 상회하고 있고, 특히 수직방향에서 다소 큰 편차를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이는 온도가 높을수록 유체의 점도가 내려가고 유동성이 증가, 그리고 부력에 의한 상승효과 등에 의한 것으로 판단된다(Kumar & Bhattachary, 1991). 또한 이와 같은 결과와 달리, Ramaswamy (1983)의 연구에서 스팀 온도에 따라 온도 균일성에 대해 유의적인 차이가

없다는 보고와 다른 결과를 나타내었다. 따라서 본 실험에서 이용한 공기 주입식 스팀-에어 레토르트는 저온살균 공정에서 온도의 균일성이 안정적이지 않아, 저온살균 조건을 설정하기 위해서는 소프트웨어 조절 외에 다른 기구적인 조절방법이 필요하다고 판단된다.

내부 가압 조절의 영향

Table 3에는 저온살균 조건에서 내부 압력은 0.3 bar (C1), 0.5 bar (P1)을, 고온살균 조건에서 1.5 bar (C2), 1.7 bar (P2)를 적용한 공정에서 중, 횡 위치별로 공정구간(HT) 시작점에서 평균 온도와 표준편차를 나타내었고, 공정구간 시작으로부터 1분, 3분, 5분 후 공정구간 동안 센서별 최대온도와 최저온도의 차이를 비교하였다. 이 실험은 레토르트의 온도분포가 내부 압력 조절에 의해 영향이 있는지를 나타낸다.

저온살균 조건에서는, 수직방향에서는 공정구간의 시작으로부터 1, 3, 5분 후의 공정구간동안의 온도차이가 1분 후를 제외하고 C1조건이 P1조건보다 유의적으로 작은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 수평방향에서는 공정구간의 시작으로부터 1, 3, 5분 후의 공정구간동안의 온도차이가 C1조건이 P1조건보다 작은 것으로 나타났지만 3분 후를 제외하고는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 반면에 고온살균 조건에서는, 수직방향과 수평방향 모든 센서 위치에서 공정구간의 시작으로부터 1, 3, 5분 후의 공정구간동안의 온도차이가 C2조건보다 P2조건이 더 큰 것을 볼 수 있었지만 1분 후의 조건에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이는 저온살균에서는 압력이 높을 때 레토르트 내의 온도분포가 더 균일하게 나타나지만, 고온살균에서는 압력이 높을 때 레토르트 내의 온도분포의 안정성이 낮은 것으로 판단된다.

이러한 결과는 각 조건들의 공정구간을 시간에 대한 온도의 그래프로 나타낸 Fig. 4에서도 볼 수 있었다. 저온살

균과 고온살균 두 조건 모두 압력이 증가할수록 공정구간 동안 온도의 변화가 더 느리게 진행이 되었고, 특히 고온살균에서는 온도 변동의 폭이 두드러지게 증가한 것으로 나타났다. 특히 고온살균 조건에서 내부 압력이 증가할수록 온도의 변동이 크다는 것을 알 수 있었다. 이는 온도와 압력이 급격히 증가하면 유체의 부피가 감소하게 되어 열전달에 영향을 받을 것으로 판단된다(Kumar & Bhattachary, 1991). 따라서 제품의 함기율 등 상태에 따라 내부 압력의 조건을 변경 시, 온도 안정성에 대해 유의해야 할 것으로 판단된다.

Come-up time (CUT) 조절의 영향

Table 4에는 고온살균 조건에서 1단 살균을 10분(C2), 0분(T2)을 적용한 공정에서 각 조건의 CUT를 나타내었다. 승온구간 10분을 적용한 공정의 CUT는 평균 7.6분, 0분을 적용한 공정의 CUT는 평균 8.8분으로 나타났다. 이는 2단 살균이 1단 살균보다 CUT가 더 짧은 것으로 나타났다.

Table 3에는 고온살균 조건에서 1단 살균을 10분(C2), 0분(T2)을 적용한 공정에서 위치별로 공정구간(HT) 시작점에서 평균 온도와 표준편차를 나타내었고, 공정구간 시작으로부터 1분, 3분, 5분 후 공정구간 동안 센서별 최대온도와 최저온도의 차이를 비교하였다. 이 실험은 레토르트의 온도분포가 승온구간의 조절에 의해 영향이 있는지를 나타낸다. 공정구간이 시작점에서의 센서들의 표준편차는 T2의 조건이 C2조건보다 더 높았고, 평균 온도 또한 더 높았다. 수직방향에서는 공정구간의 시작으로부터 1, 3, 5분 후의 온도차이가 C2조건이 T2보다 큰 것을 볼 수 있었으나, 유의적인 차이는 없었다($p > 0.05$). 반면에 수평방향에서는 공정구간의 1분 후 부터의 온도차이를 보면, C2조건이 T2조건보다 낮았고, 공정구간으로부터 3, 5분 후의 온도차이는 T2조건이 더 낮은 것으로 나타났다($p < 0.05$).

Table 3. Mean temperature (T_{mean}) and standard deviation (SD) at the beginning of the HT, and temperature difference (ΔT) between highest-reading thermocouple (T_{max}) and lowers-reading thermocouple (T_{min}) after 1, 3, and 5 min holding phase

	Condition	Location	T_{mean} begin HT (°C)	SD begin HT	ΔT after 1 min HT ($T_{max} - T_{min}$) (°C)	ΔT after 3 min HT ($T_{max} - T_{min}$) (°C)	ΔT after 5 min HT ($T_{max} - T_{min}$) (°C)
Pasteurization	C1	A-C	88.4	1.2	8.2 ^b	8.0 ^d	7.9 ^d
		D-G	84.8	1.7	9.4 ^D	8.8 ^E	8.6 ^C
	P1	A-C	88.3	1.3	7.8 ^b	7.5 ^c	7.3 ^c
		D-G	89.3	1.5	9.5 ^D	8.6 ^D	8.4 ^C
Sterilization	C2	A-C	121.2	0.3	2.7 ^a	2.6 ^a	2.5 ^a
		D-G	121.4	0.3	2.9 ^A	2.9 ^B	2.9 ^{AB}
	P2	A-C	121.8	0.4	3.2 ^a	3.0 ^b	2.9 ^b
		D-G	121.8	0.4	3.7 ^C	3.2 ^C	3 ^B
	T2	A-C	122.2	0.5	2.6 ^a	2.5 ^a	2.3 ^{ab}
		D-G	121.8	0.3	3.1 ^B	2.7 ^A	2.7 ^A

^{a-d}Means with the same column in each superscript are not significantly different by Duncan's multiple test ($p < 0.05$).

^{A-E}Means with the same column in each superscript are not significantly different by Duncan's multiple test ($p < 0.05$).

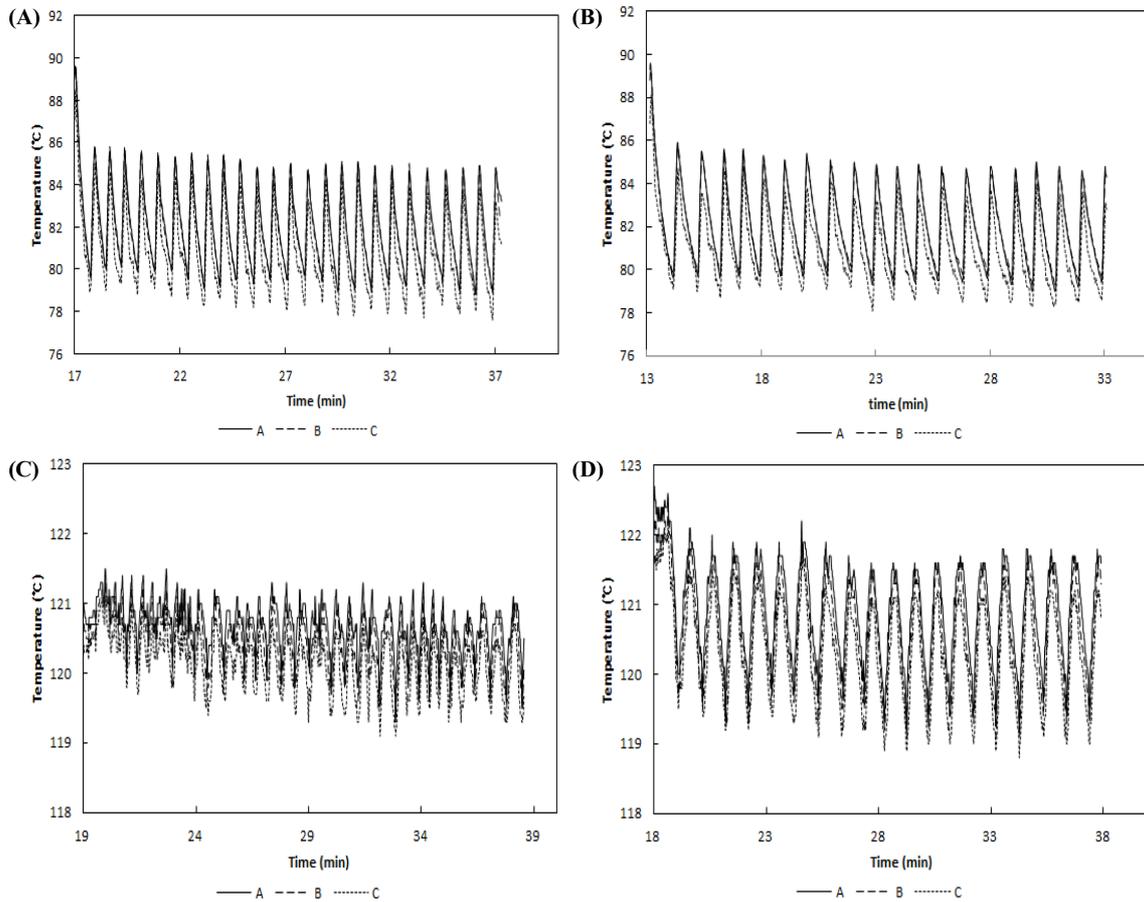


Fig. 4. Detailed time-temperature profile of the holding phase of a temperature distribution test in pasteurization condition using (A) pressure 0.3 bar (control condition) and (B) pressure 0.5 bar and sterilization condition using (C) pressure 1.5 bar (control condition) and (D) pressure condition 1.7 bar.

Table 4. Come-up time (the time lapse between the introduction of the heating medium into the closed retort and the time when the retort reaches process temperature) of sterilization condition at 10 min (C2) and 0 min (T2)

Run	Come-up time (min)	
	T2	C2
1	8.18	8.95
2	7.13	8.96
3	7.35	8.36

요 약

공기 주입식 스팀-에어 레토르트 내에서 스팀온도, 내부 가압, CUT 등의 공정변수가 레토르트 내부의 온도 균일성에 미치는 영향을 평가하였다. 고온살균(121°C)이 저온살균(82°C) 보다 공정구간동안 온도분포가 더 균일하고 안정적이었다. 내부 가압이 클수록 저온살균조건의 공정에서는 온도분포가 안정적이었고, 이와 반대로 고온살균조건의 공정에서 온도분포가 더 불균일한 것으로 나타났다. 승온구

간을 조절한 경우에는 레토르트 내의 온도분포에는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 공정구간동안 레토르트 내부에서 냉점은 수직방향 1층의 위로 확인되었고, 수평방향에서는 맨 뒤쪽 중앙 부분이 가장 높은 온도를 유지하여 공정 동안 이 위치들을 주의를 할 필요가 있었다. 또한 레토르트 내부의 양 옆 위치가 다른 위치에 비해 특히 온도분포가 불안정한 것으로 확인되었으므로 레토르트 가공 공정에서 주의해야 할 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 고부가가치기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(314053-2, 315071-3).

References

Berteli MN, Vitali AA, Marsaioli A, Berto MI. 2012. The analysis of an alternative approach to the venting process in retort oper-

- ating under steam pressure. *J. Food Eng.* 109: 388-398.
- Chamchong M, Sangsonm V, Charoemkitti N. 2011. Computer-Based On-Line Assessment of Sterilizing Value and Heat Distribution in Retort for Canning Process. In: *Food Industrial Processes-Methods and Equipment*. InTechOpen, Rijeka, Croatia. pp. 379-400.
- Chung MS, Ahn TH, Lee YG, Yoo MY. 1995. Temperature Distribution in Water Cascading Horizontal Retort. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27: 827-833.
- FDA. Food and Drug Administration. Processing in Steam-Air Retorts (FDA form 3511h). Available from: <http://www.fda.gov>. Accessed Sep. 2014.
- Han KS. 2006. Treatment apparatus for steam sterilization. Korea patent No. 1,00,832,031.
- IFTPS. 2014. Institute for Thermal Processing Specialists. Guidelines for conducting thermal processing studies. Available from: <http://www.iftps.org>. Accessed Mar. 13. 2014.
- Kim JH, Yoon WB. 2016. The effect of temperature distribution in the retort on the degree of sterilization and the quality of potato. *Food Eng. Prog.* 20: 240-246.
- Kumar A, Bhattachary M. 1991. Transient temperature and velocity profiles in a canned non-Newtonian liquid food during sterilization in a still-cook retort. *Int. J. Heat Mass Transfer.* 34: 1083-1096.
- NFPA. 1985. Guidelines for thermal process development for food packaged in flexible containers. National Food Processor's Association, Washington, USA.
- Otto N, Amman S, Eaton C, Lake, S. 1999. Guidelines for jury evaluations of automotive sounds. SAE Paper No. 1999-01-1822. In: *Proceeding of SAE Noise and Vibration Conference*, Michigan, USA.
- Pyun YR, Kwon YJ, Kim BY, Park JY, Sin HH, Lee DS, Lee SY, Lee JH, Lee HY, Lim JH, Chung MS, Cho HY, Choi YH, Hwang JK. 2014. *Food Process Engineering*, Jigu Publishing Co., Paju, Korea, p. 267.
- Ramaswamy HS. 1983. Heat Transfer Studies of Steam/Air Mixtures for Food processing in Retort Pouch. Ph.D. thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada
- Shin HH, Kim YJ, Cho WI, Choi JB, Choi WD. 2003. Development of a computer program predicting sterilization effects on target microorganisms. *Korean J. Food Nutr.* 16: 180-186.
- Singh AP, Singh A, Ramaswamy HS. 2015. Modification of a static steam retort for evaluating heat transfer under reciprocation agitation thermal processing. *J. Food Eng.* 153: 63-72.
- Smout C, Van Loey A, Hendrickx M. 2001. Role of temperature distribution studies in the evaluation and identification of processing conditions for static and rotary water cascading retorts. *J. Food Eng.* 48: 61-68.
- Smout C, Van Loey AML, Hendrickx MEG. 2000. Non-uniformity of lethality in retort processes based on heat distribution and heat penetration data. *J. Food Eng.* 45: 103-110.
- Varga S, Oliveira JC, Smout C, Hendrickx ME. 2000. Modelling temperature variability in batch retorts and its impact on lethality distribution. *J. Food Eng.* 44: 163-174.
- Varga S, Oliveira JC, Smout C, Hendrickx ME. 2001. Temperature distribution analysis of a water cascading retort in rotary and static modes. *Int. J. Food Sci. Technol.* 36: 551-562.