

산침지와 가열 살균이 떡볶이 떡의 형상 변화와 품질 특성에 미치는 영향

정화빈 · 유채린 · 박현우 · *윤원병*

강원대학교 농업생명과학대학 식품생명공학 전공 석사과정, *강원대학교 농업생명과학대학 식품생명공학 전공 정교수

Effect of Acid Soaking and Thermal Sterilization on the Shape and Quality Characteristics of *Tteokbokki* Rice Cake

Hwabin Jung, Chae Rin Yu, Hyeon Woo Park and *Won Byong Yoon*

Master's Student, Dept. of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

*Full Professor, Dept. of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

Abstract

Effects of acid soaking (AS) and thermal sterilization (TS) on the shape and quality characteristics of *Tteokbokki* rice cake (TRC) were investigated. The *F*-value of a sequential process (SP) of the combination of AS and TS was quantitatively determined with a reference microorganism of *Bacillus cereus*. *F*-values were evaluated according to the minimum and the maximum *D*-value of *B. cereus* and the reduction exponent ($m=12$). The heat penetration curves at cold point (CP) of TRC (400 g) were used to estimate the TS time at 121, 100, and 95 °C. *F*-values of the SP were revised according to the adjusted *m* values after AS at different pH. The non-uniformity parameters (NUP) of TRC had no significant changes during AS but it dramatically increased after applying TS at a low pH by AS. The result of solubilized starch contents (SSC) demonstrated that the shape changes during SP are related to SSC. The texture characteristics and the whiteness were significantly influenced by a low pH condition (3.5) ($p<0.05$). Sensory analysis showed that a lower pH and a longer thermal processing time influenced negatively on the acceptability. This study showed that pH 4.0 and 95 °C was an optimum condition for the SP.

Key words: *Tteokbokki* rice cake, pH, sterilization, acid soaking, *F*-value

서 론

압출떡은 분쇄된 쌀에 물과 소금을 섞어 일정 온도에서 호화를 시킨 상태에서 압출하여 만들어진 떡류를 지칭한다. 이와 같은 압출떡 중 하나인 떡볶이용 떡은 2015년 기준 69.7%로 가장 높은 시장 점유율을 나타내며 지속적으로 증가하고 있다. 2015년 식품산업통계정보에 의하면 2013년 기준 떡볶이 떡 업체 중 97.3%가 영세소규모 업체로, 대형유통업체의 경우 냉장유통이 원활하여 냉장매대를 통한 떡볶이의 판매가 가능하나, 그 외의 유통경로의 경우 냉장유통이 원활하지 않으므로 당일 주문방식의 취약한 유통구조를 가지고 있

다. 이와 같은 당일 주문방식의 생산 및 유통 체계는 떡볶이 떡의 짧은 유통기한(생산 후 상온 4일 이내 소진)이 근본적인 원인으로, 이는 떡볶이 떡의 국내 시장 성장의 가장 중요한 저해요인일 뿐만 아니라, 수출의 가장 큰 제한 요인으로 작용한다.

떡류의 유통기한 연장을 위하여 다양한 천연 항균제를 첨가하여 유통하는 연구(Lee 등 2000; Jo & Han 2003; Park 등 2004; Kim 등 2005), 포장 내 대기 조성을 조절하는 포장법에 관한 연구(Moon 등 2010), 주정처리를 이용한 연구(Lee 등 2000)가 이루어져 왔으며, 이를 통하여 유통기한은 76일 이내의 연장 결과가 발표되었다. 또한, 최근 산미료처리와 가열 살

* Corresponding author: Won Byong Yoon, Full Professor, Dept. of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea. Tel: +82-33-250-6459, Fax: +82-33-241-0508, E-mail: wbyoon@kangwon.ac.kr

균과정을 통한 유통기한 연장에 대한 연구가 보고되었으며, 유통기한이 최대 10개월까지 연장되는 결과가 발표되었다(Kang 등 2013; Cheon 등 2017). 이는 떡류의 유통기한에 영향을 미치는 진균류 등이 가열처리 조건에 취약함을 나타내었으며, 떡을 가열처리하는 가공 공정이 떡류의 유통기한 연장에 유용함을 나타내었다(Cheon 등 2017).

가열처리를 통한 살균공정은 식품의 많은 부분에 응용되고 있으며, 가장 보편적으로 이용되는 살균방법으로 많은 상온 유통의 가공식품이 가열살균공정을 통하여 생산되고 있다. 이에 따라 다양한 식품의 가열살균공정의 효과와 최적화에 대한 연구가 보고되고 있다(Shin 등 2003; Juliano 등 2012; Lee & Yoon 2014). 식품의 살균공정은 안전성과 직결되므로 식품 내의 냉점을 정확히 측정하여 그 냉점에서의 살균도(lethality)를 나타내는 가열치사시간(F -value)을 원하는 목표치에 달성할 수 있게끔 설계되어야 한다. 많은 연구결과가 가열살균의 온도와 시간의 조건을 적용하여 살균효과를 나타내고 있으나(Park 등 2015; Choi 등 2017; Choi 등 2018), 구체적으로 연구결과가 해당 식품의 냉점에서의 살균온도와 시간을 바탕으로 계산된 F -value를 제시하여 연구결과를 나타낸 경우는 매우 드물며, 압출떡의 경우도 살균도에 대한 정확한 정의가 없이 연구가 수행되었다(Cheon 등 2017). F -value는 이론적으로 감소지수(m)와 D -value의 곱으로 정의되며, 정확하게 측정되지 않은 F -value는 감소지수에 영향을 주어 미생물의 수가 살균 후 10의 멱승의 형태로 증가(살균부족) 또는 감소(과살균)하는 현상을 가져오게 되므로 유통 중인 식품의 안전성에 매우 중요한 지표이다. 따라서 가열살균공정은 정확한 살균도나 가열치사시간(F -value)을 바탕으로 설계되어야 한다.

쌀가공제품의 경우, *B. cereus*가 식중독균으로 가열살균공정의 지표 균으로 보고되고 있다(Azanza & Centeno 2007; Kim 등 2011; Wang 등 2016). 일반적인 내열성균(포자생성균)을 포함한 식품의 가열살균은 121.1°C를 기준으로 F -value를 계산하여 살균의 정도를 표시하며, 이를 통하여 레토르트(고온가압살균기)의 온도를 121.1°C로 설정하고, 가열시간을 조절하여 살균도를 조절한다(Singh & Heldman 2001). 이와 같이 고온인 상태로 식품을 가열할 경우, 식품의 다양한 품질 특성(예, 색, 향, 맛, 조직감)과 형상에 변화를 주게 된다(Iturriaga 등 2006; Palav & Seetharaman 2006). 야채류나 양파와 같은 경우, 조직의 구조가 고온 가압의 상태에서 파괴되고, 또한 조직 내부의 수분의 이동으로 인한 변형이 주된 원인으로 보고되고 있으며(Oey 등 2008), 전분을 주성분으로 하는 가공식품의 경우 높은 온도에서 내부의 수분이 전분의 용해를 유도하고, 궁극적으로 내부의 전분이 외부로 용출되면서 형상이 심하게 변형되며, 주위의 다른 제품과 엉겨 붙는 현상이 발생한다

(Li 등 2016). 이와 같은 품질의 변화와 형상의 변화는 고온가압살균 공정의 최적공정 조건을 결정하는 가열온도와 가열시간을 설정하는데 매우 중요한 요인이다.

식품 표면에서 미생물 저감효과를 가져오기 위하여 비가열처리방식으로 산침지나 주정분무가 많이 사용되고 있다. 산침지나 주정분무의 경우 pH나 주정의 알콜농도 및 침지시간에 따라 1 log CFU/g이나, 그 이상의 감균효과를 가져올 수 있다. 이와 같이 산침지를 압출떡에 사용할 경우 압출떡의 표면의 균을 감균함과 동시에 떡의 내부 pH의 저하로 유통 중의 미생물의 성장을 억제하는 효과도 가져올 수 있다. 이와 같은 산침지와 가열살균이 복합공정으로 설계될 경우, 가열살균의 열처리 온도나 시간을 낮추어 열에 의한 식품의 품질변화를 최소화하며, 안전성을 유지할 수 있게 된다. 하지만 이와 같은 복합공정은 살균도를 기준으로 매우 정교하게 설계되어야 한다. 산침지에 의한 미생물의 감소지수를 규명하고, 이에 따라 가열살균공정을 계산하는 절차가 필요하나, 많은 연구결과는 복합공정의 상호관계를 정량적으로 규명하지 않고 살균효과를 나타내고 있다(Kang 등 2013; Cheon 등 2017).

떡볶이 떡의 경우, 상온유통이 절대적으로 필요한 가공식품이며, 상온에서의 유통기한 연장을 위한 기술개발이 매우 필요하다. 산침지와 가열살균공정을 혼합한 복합공정은 떡볶이 떡의 유통기한을 수개월로 연장할 수 있는 기술로 보고되었으나, 대량 생산체제로 생산하기에는 정교한 살균도의 제시와 가열살균 공정 중의 다양한 품질변화에 대한 연구가 필요하다.

이에 따라 본 연구는 1) 떡볶이 떡의 산침지와 가열살균 복합 공정 중 떡볶이 떡의 형상변화를 측정할 수 있는 새로운 영상분석법을 개발하고, 2) 영상분석을 통한 가열살균조건에 따른 형상변화를 정량화 할 수 있는 지표를 설정하며, 3) 산침지와 가열살균공정을 기준이 되는 *B. cereus*의 열특성에 맞추어 적용할 수 있는 최소 및 최대 살균도를 계산하여 실제 산업화에서 산침지 및 열처리공정을 설계하여 떡볶이 떡의 유통기한을 연장할 수 있는 공정지표를 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에서 떡볶이 떡 제조에 이용한 재료는 2017년산 멍쌀(Hoengseong Nonghyup, Hoengseong, Korea)과 소금(CJ Cheiljedang, Seoul, Korea)을 시중에서 구입하여 4°C에서 보관하며, 품질변화가 없는 상태에서 시료로 사용하였다.

2. 떡볶이 떡 시료 준비

떡볶이 떡은 초기 수분함량 12%인 멍쌀을 3시간 동안 정

제수에 수침한 후 분쇄하여 습식 미분을 제조하였다. 이후 미분과 정제수의 비율을 8.5:1로 하고, 소금 함량이 1%가 되도록 혼합하여 반죽한 후 이를 증자하여 스크류에서 압출 성형을 하였다. 이렇게 제조한 떡볶이 떡의 최종 수분 함량은 $47.11 \pm 1.11\%$ 였으며, AOAC(AOAC 1995) 방법에 따라 105°C 에서 24 h 건조 후 무게를 측정하여 이를 계산하였다. 떡볶이 떡은 1 h 동안 폴리에틸렌 백 내에서 상온에 방치하여 25°C 가 되도록 한 후 실험에 이용하였다.

떡의 살균 실험을 위하여 상온으로 냉각한 떡 400 g을 가로 17 cm, 세로 20 cm의 포장지(Ny(15 μm)/PE(20 μm)/LLDPE(50 μm))(Ny: Nylon, PE: Poly Ethylene, LLDPE: Linear Low Density Polyethylene)에 넣고 합기포장하였으며, 포장 후 떡의 형상은 판형이라 가정하였을 때 $13 \times 13 \times 3.5 \text{ cm}^3$ 이었다. 모든 실험에 이용된 떡은 노화를 방지하기 위하여 산침지 및 열처리가 완료된 후 1 h 이내에 측정하였다.

3. 떡볶이 떡 살균

떡볶이 떡의 살균은 400 g 포장 떡볶이 떡 3개(400 g \times 3)를 1회 살균으로 하여 3회 실시하였으며, 95°C 의 경우 항온수조에서 살균을 수행하고, 100°C 와 121°C 의 경우 레토르트(SR-240, TOMY SEIKO Co., Ltd, Japan) 기기를 이용하여 살균을 수행하였다.

감소지수(m)는 초기의 미생물의 농도와 가열살균 후의 미생물 온도의 비로서 안전한 유통을 위해 필요한 감균의 정도를 나타내는 인자이며, 본 연구에서는 가열살균에 적용되는 감소지수($m_{thermal}$)를 다음 식을 이용하여 구하였다(Eq. (1)).

$$m_{thermal} = \log \frac{N_0}{N} \quad (1)$$

N_0 는 초기 균수를 의미하며, N 은 살균 후 목표하는 균수를 나타낸다.

일반적으로 내열성균의 살균은 $m=12$ 로 초기균수의 10^{12} 의 감균이 이루어진 상태를 저산성 식품의 상온유통에 안전한 상태로 간주한다(Pflug II 1987). 가열치사시간(F -value, F)은 m 과 decimal reduction time(D -value, D)의 곱으로 정의한다(Eq. (2)).

$$F = mD \quad (2)$$

본 연구에서는 떡가공제품에서 살균 후에도 가장 많이 분포되어 있는 *B. cereus*를 살균공정의 미생물 지표균으로 선정하였다. *B. cereus*의 D -value는 균주의 열 저항성에 따라 다양한 범위를 가지고 있으므로 본 연구에서는 살균온도 95°C 를 기준으로 최소 D -value($D_{min}=0.64 \text{ min}$)와 최대 D -value($D_{max}=$$

7.04 min)를 문헌(Hariram & Labbe 2016)을 통하여 설정하여 최소 F -value(F_{min})와 최대 F -value(F_{max})를 다음과 같이 설정하였다(Eqs. (3)-(4)).

$$F_{min} = 12D_{min} \quad (3)$$

$$F_{max} = 12D_{max} \quad (4)$$

일반적으로 레토르트(고온 가압 살균기)를 사용하여 저산성 상온유통 식품을 제조할 경우, 사용되는 내열성 균의 기준 살균온도인 121°C , 유통기한 연장을 위한 살균압출 떡의 연구(Cheon 등 2017)에 사용된 살균온도 100°C 및 대기압에서 물의 비등점보다 낮은 온도인 95°C 를 사용하여 본 연구에서는 살균 시의 살균온도가 떡볶이 떡의 품질에 주는 영향을 조사하였다.

특정 살균온도에서 목표로 하는 F_{min} 과 F_{max} 를 만족시키기 위한 살균 시간인 F -value (F)를 계산하는 다음과 같은 수식을 이용하여 계산되었다(Eq. (5)).

$$F = \int_0^t 10^{\frac{T(t)-T_{ref}}{z}} dt \quad (5)$$

식에서 t 는 열처리 시간, $T(t)$ 는 시간 t 에서의 온도, T_{ref} 는 레퍼런스 온도이며, 본 연구에서는 95°C 를 이용하였다. 계산에 이용된 z -value(z)는 Van & Zwietering(2006)의 연구에서 열 저항성 *B. cereus*의 z -value를 이용하였다.

위와 같은 Eq. (5)를 이용하기 위해서는 살균 동안의 냉점에서의 시간에 따른 온도변화를 측정하여야 한다. 냉점을 구하기 위해서 본 연구에서는 Park & Yoon(2018)의 방법을 이용한 수치해석기법과 무선 온도센서(TrackSense Pro, Ellab, Inc., Centennial, CO)를 이용한 측정을 이용하여 냉점을 설정하였으며, 설정된 냉점에서의 살균 중의 온도변화를 측정하여 Eq. (5)에 이용하여 해당 살균온도에서의 살균시간을 도출하였다.

또한, 계산한 레퍼런스 온도인 95°C 에서의 F -value를 다음과 같이 계산하여 100°C 와 121°C 의 온도에서 동일한 F -value를 나타내는 살균 시간을 도출하였다.

$$F_T = F_{ref} \cdot 10^{-(T-T_{ref})/z} \quad (6)$$

4. 산미료 침지 및 pH 측정

떡볶이 떡을 젓산 39.6%, 구연산 5.0%, L-젓산나트륨 7.0%, 글루코노델타락톤 5.0%, 솔비톨액 4.5%, 정제수 38.9%로 이루어진 식품첨가물용 산미료(Power dip A-E, JP trading Inc., Seoul, Korea) 10% 수용액에 시간별로 침지하며, pH를 측정

하였다(Kang 등 2013). 산미료 수용액에서 떡을 꺼낸 후 떡 표면의 산미료를 페이퍼타월로 제거한 후 떡 10 g을 증류수 40 g과 균질기(Polytron PT 2100, Kinematica AG, Luzern, Switzerland)로 분쇄하여 pH미터(Starter 3000, Ohaus Corp., Florham Park, NJ, USA)로 pH를 측정하였다.

5. 수학적 모델

산미료 침지 시간에 따라 변화하는 pH를 다음과 같이 수소이온농도로 계산하여 Peleg model을 이용하여 모델링하였다(Eqs. (7)-(8)).

$$H = 10^{-pH} \quad (7)$$

$$H = H_i + \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad (8)$$

위의 식에서 H 는 수소이온농도(mol/mm^3), H_i 는 초기 수소이온농도(mol/mm^3), t 는 시간(s)이다. K_1 과 K_2 는 Peleg 상수를 나타내며, Peleg rate constant ($\text{h}\%^{-1}$) 상수 K_1 은 흡수 속도를, Peleg capacity constant($\%^{-1}$), 상수 K_2 는 최대 수소이온농도를 나타낸다. 위의 Eqs. (7)-(8)을 Matlab R2016a(Mathworks, Natick, MA, USA) 소프트웨어를 이용하여 데이터에 모델링하였으며, Peleg 상수를 이용하여 수소이온농도가 산침지 시간에 따라 평형을 이룰 때, 다음 수식을 통하여 평형 수소이온농도(H_e)를 구하였다.

$$H_e = H_i + \frac{1}{K_2} \quad (9)$$

6. 산침지와 살균복합공정에서의 살균도

떡볶이 떡의 산미료 침지 후 떡의 균 수는 감소된다. 이와 같이 산침지 후 미생물의 감균 효과는 가열 살균 전 m 의 값에 변화를 주므로 침지 후 적용되는 m_{acid} 는 다음과 같이 구하였다(Eq. (10)).

$$m_{acid} = \log \frac{N_0}{N_{acid}} \quad (10)$$

침지 후 변화된 m 값에 따라 산침지와 살균복합공정에서의 살균도를 구하기 위한 m_{final} 은 Eq. (11)과 같이 구하였으며, 복합공정에서의 가열치사시간은 F_{final} 는 Eq. (12)와 같이 구하였다.

$$m_{final} = m_{thermal} - m_{acid} \quad (11)$$

$$F_{final} = m_{final} D \quad (12)$$

7. 떡볶이 떡 형상 분석

떡볶이 떡의 살균 온도 및 산침지에 따라 변화하는 떡의 형상을 정량하기 위하여 이미지 분석을 수행하였다. 살균 및 산침지 이전의 떡볶이 떡을 대조군으로 하여 떡의 형상이 균일하지 않은 정도를 non-uniformity로 계산하였다. 먼저, 떡볶이 떡을 흑색 촬영용 배경천에 위치시킨 후 디지털 카메라(DSLR-500D, Canon Inc., Tokyo, Japan)로 20 cm의 거리에서 측정하였다. 이후 Matlab 소프트웨어를 이용하여 Canny edge operator로 edge detection을 수행하였으며, 떡의 형상을 백색, 배경을 흑색으로 변환하여 이미지의 분할(segmentation)을 수행하였다. 살균된 떡을 무작위하게 5개의 시료군으로 취하여 그 중 15개를 무작위로 선택하여 다음과 같이 비균일도를 계산하였다.

$$N = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n}} \quad (13)$$

위의 식에서 n 은 시료의 개수, A_i 는 각 시료의 면적, \bar{A} 는 A_i 의 평균을 의미한다.

8. 전분 용출도 측정

살균 온도 및 pH에 따른 떡볶이 떡의 전분 용출도는 Cheon 등(2017)의 실험 방법을 변형한 방법을 이용하였다. 전분 용출도는 떡볶이 떡 100 g을 물 400 g을 넣고 각 살균 온도인 95, 100, 121 °C에서 시간별로 열처리를 하고, 전분이 용출된 물을 분광광도계(SpectraMax i3, Molecular Devices, Sunnyvale, CA, USA)를 사용하여 파장 480 nm에서 용출액을 통과할 때 흡수되는 빛의 양인 흡광도를 측정하여 분석하였다. 같은 방법을 이용하여 떡의 산침지 시간에 따른 흡광도를 산미료 10% 수용액을 대조군으로 하여 측정하였으며, 이후 95 °C에서 열처리 시 떡의 pH가 3.5-6.0일 때 시간에 따른 전분 용출도를 측정하여 살균 온도 및 pH가 살균 시간에 따라 형상의 변형과 밀접한 관련이 있는 전분 네트워크에 미치는 영향을 확인하였다.

9. 떡의 *Bacillus cereus* 균수 측정

떡볶이 떡의 초기 pH 및 열처리 살균 시간에 따른 *B. cereus*의 균수를 측정하였다. 멸균백 내에서 떡볶이 떡 시료 10 g에 0.1% 멸균 펩톤수 90 g을 균질기를 이용하여 2 min간 분쇄하였으며, 균질화한 시료 현탁액 1 mL를 9 mL의 0.1% 멸균 펩톤수에 단계적으로 희석하고 균질화하여 미생물 검출에 이용하였다. 미생물 검출을 위하여 *B. cereus*의 선택 배지인 50% egg yolk enrichment와 Antimicrobial Vial P(Difco, Becton Dickinson and Company, Sparks, MD, USA)와 함께 제조한 mannitol

egg yolk polymyxin agar(MYP; Difco, BD)를 이용하였다. 미생물 실험은 pour plate 방법을 이용하였으며, 1 mL의 희석한 시료 현탁액을 빈 페트리 접시에 분주한 후 45°C로 냉각된 배지 용액을 넣고 약한 강도로 흔들며 시료와 배지를 혼합하였다. 이후 10 min 동안 배지를 냉각시킨 후 30°C에서 24시간 동안 배양하여 *B. cereus* 균수를 측정하였다.

10. 떡의 조직감 측정

다양한 pH를 나타내는 떡볶이 떡을 95°C에서 가열살균하기 전과 후의 조직감을 texture analyzer(TA-CT3, Brookfield Engineering Laboratories Inc., Middleboro, MA, USA)를 이용하여 texture profile analysis(TPA)로 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 응집성(cohesiveness), 씹힘성(chewiness), 탄성(springiness), 검성(gumminess)을 측정하였다. 조직감 측정을 위하여 떡볶이 떡을 직경 15 mm, 높이 10 mm가 되도록 절단하였으며, 측정은 TA11/1000 probe(cylindrical probe, \varnothing 25.4 mm)를 이용하여 60% deformation, pre-test speed 2 mm/s, test speed 0.5 mm/s, trigger load 7 g의 조건으로 6회 반복 측정하였다.

11. 색도 측정

살균 전과 후의 떡볶이 떡의 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)를 색차계(CR-310, Konica Minolta, Tokyo, Japan)로 측정하였다. 색차계는 측정 전 표준 백색판을 이용하여 보정하였으며, 백색도(whiteness)를 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Whiteness} = L - 3b \quad (14)$$

12. 관능평가

산침지 후 다양한 pH를 나타내는 떡볶이 떡을 95°C에서 살균한 후 기호도를 확인하기 위하여 강원대학교 생명윤리위원회(IRB)의 심의를 통과한 후 관능평가를 실시하였다(승인번호: KWNUIRB-2017-05-002-001). 강원대학교 식품생명공학과에 재학 중인 학생 10인을 관능평가의 항목과 정의에 대하여 숙지하도록 2회 이상 사전 교육을 수행한 후, 각 실험군 별 떡볶이 떡 10 g에 대하여 맛(taste), 향(flavor), 색(color), 조직감(texture), 전체적 기호도(overall acceptability)를 7점(1점: 대단히 약함, 7점: 대단히 강함) 척도로 평가하도록 하였다.

13. 통계처리

본 연구에서의 모든 실험은 최소 3회 이상 반복 측정하였으며, 데이터의 통계 분석은 SPSS(SPSS Statistics 21, IBM, Armonk, NY, USA)의 분산분석(ANOVA)을 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 떡볶이 떡의 살균 온도 및 시간 도출

떡볶이 떡의 다양한 온도에서의 살균 시 가열치사시간(F)을 계산하였다(Table 1). F -value는 Eqs. (3), (4) 및 Hariram & Labbe(2016)의 연구 결과에 의하여 식품에서의 다양한 내열성을 가지는 *B. cereus* 균의 95°C에서의 D_{min} 과 D_{max} 을 구하였으며, 이를 통하여 계산한 F -value의 최소(F_{min}) 및 최대(F_{max}) 값은 각각 7.68 min 및 84.48 min이었다. 떡볶이 떡을 동일하게 포장하여 100°C와 121°C에서의 F_{min} 과 F_{max} 를 Eq. (6)을 이용하여 계산한 결과, 100°C에서의 F_{min} 은 2.966 min, F_{max} 는 32.624 min이며, 121°C에서의 F_{min} 은 0.055 min, F_{max} 는 0.600 min임을 확인하였다. 이는 95°C에서의 특정 시간 동안의 열처리와 동일한 열처리 정도를 100°C 및 121°C의 온도에서 수행하고자 할 때 각 온도에서 살균에 필요한 시간이 감소하며, 온도의 증가와 선형적으로 반비례하지 않기 때문에 본 연구의 방법으로 계산을 하여 정확한 살균 시간의 도출이 가능함을 의미한다.

2. 살균 중의 떡볶이 떡의 온도 변화

떡볶이 떡 400 g을 포장하여 열처리 시 떡의 온도는 초기 25°C에서 서서히 증가하게 된다. 그러나 살균 시 열은 외부의 열이 표면에서부터 내부로 전달이 되며, 이에 따라 가장 온도가 천천히 증가하는 지점인 냉점(cold point)이 존재하게 된다(Lee & Yoon 2014). 따라서 F -value를 계산하는 기준은 떡의 냉점이 되어야 하며, 냉점을 시뮬레이션을 통하여 설정한 후 이를 실험을 통하여 검증하였다(Fig. 1). 시뮬레이션 결과, 떡의 판형 형상에서는 모든 방향에서 열이 균일하게 전달이 되어 중심 부근의 온도가 가장 천천히 상승함을 확인하였다(Fig. 1(a)-(c)). 가열 시간에 따라 가열 중반부인 20 min 경과 후에는 윗면 및 측면의 열전달을 확인하였을 때 중심부에서 가열이 가장 천천히 발생됨을 확인하였다(Fig. 1(a)). 가열 후 반부인 40 min 경과 후에는 중반부와 유사한 경향을 나타내었으며(Fig. 1(b)), 냉점의 위치가 중심임을 확인하기 위하여 가열 종료 직전에서 온도 범위를 축소시켜 확인하였을 때 기하학적 중심에 냉점이 위치하여 있음을 확인하였다(Fig. 1(c)). 시뮬레이션 냉점 추정 결과의 검증을 위하여 실제 400 g 포

Table 1. Minimum and maximum D -values and F -values of Tteokbokki rice cake

Temperature (°C)	D_{min}	D_{max}	F_{min}	F_{max}
121	0.005	0.050	0.055	0.600
100	0.247	2.719	2.966	32.624
95	0.640	7.040	7.680	84.480

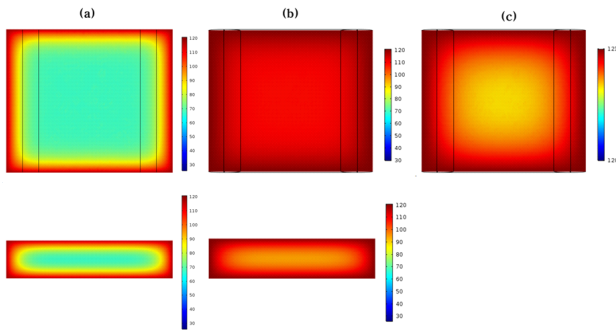


Fig. 1. Contour plots obtained from the computer simulation to estimate the cold point of packaged rice cake (400 g). Thermal processing time at 20 min (a), at 40 min (b), and the extended temperature scale between 120 and 121 °C to estimate the cold point accurately (c).

장 떡볶이 떡에 무선온도센서를 위치시켜 온도를 측정하였다(Fig. 2(a)~(b)). 시간에 따른 온도 변화 측정 결과, 떡의 기하학적 중심인 센서 위치 B에서 가장 느린 온도 상승이 발생하였으며, 떡의 표면과 가까운 D와 F 위치에서 가장 빠른 온도 상승이 발생함을 확인하였다(Fig. 2(a)).

이에 따라 포장 떡볶이 떡의 기하학적 중심에서의 온도를 95 °C, 100 °C, 121 °C에서 가열살균하는 동안 측정하여(Fig. 3(a)) 121 °C를 기준으로 각 열침투곡선의 F_0 -value를 Fig. 3(b)에 나타내었다. 실제 공정에 적용하기 위한 각 살균 온도에서의 F -value는 각 살균 온도에서의 D -value를 고려한 보정된 F -value로 환산되어야 하기에 떡의 각 온도별 최소, 최대 F -value를 각 살균 온도의 D -value로 보정하여 계산하였다(Table 1). 보정된 F -value는 감소지수와 D -value의 곱으로 이론적으로 설정된 값이므로, 실제 목표 온도에 도달하기까지의 come-up-time(CUT)을 고려하지 않은 시간이다. 그렇기 때문에 이를 CUT를 고려한 가열살균시간(thermal processing time)으로 도출하여야 하며, 따라서 각 살균 온도에서의 열침투곡선을

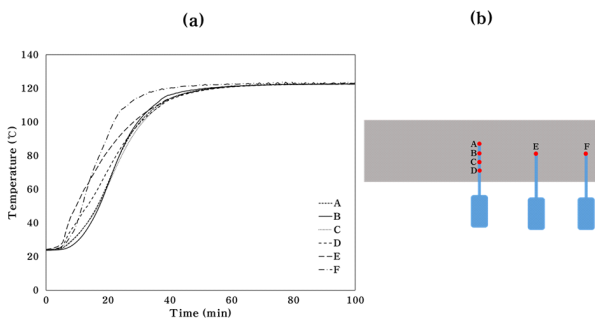


Fig. 2. The heat penetration curves measured at 121 °C at different locations in the packaged rice cake (a), and the locations of thermo-couple in the packaged rice cake (400 g) (b).

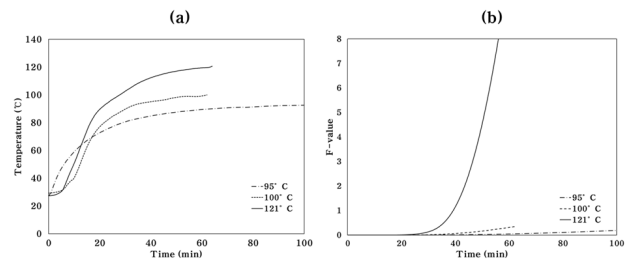


Fig. 3. The heat penetration curves (a) and F_0 -values (b) at the cold point at different thermal sterilization temperatures (95, 100, 121 °C). Thermal sterilization at 95 °C was conducted in the water bath showing no come-up-time found in the retort process (100, 121 °C).

통하여 실제 공정에 적용되어야 할 각 최소, 최대 F -value에 해당하는 가열살균시간을 확인하였다(Table 2). 이를 통하여 400 g으로 포장된 떡볶이 떡 냉점에서의 각 온도별 가열살균 시간은 95 °C에서 최소 63.4 min, 최대 174.9 min, 100 °C에서 최소 38.5 min, 최대 73.8 min, 121 °C에서 최소 26.6 min, 최대 36.6 min임을 확인하였다.

3. 살균 온도에 따른 떡의 형상 변화

포장된 떡볶이 떡의 95 °C, 100 °C, 121 °C에서의 살균 온도에 따른 F_{min} 과 F_{max} 로 살균한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 대조군인 살균하지 않은 떡의 형상과 비교하였을 때, 121 °C에서 살균한 떡은 26.6 min의 짧은 열처리 시간에도 불구하고, 떡이 중첩되어 있는 부위에서 형상이 뒤틀리고 매우 불균일한 형상을 나타내었다. 100 °C에서 살균한 떡의 경우 121 °C와 비교하였을 때에는 형상의 변화가 적으나, 대조군에 비하여 불균일한 형상을 나타내었다. 95 °C에서 최소 F -value로 살균한 경우에는 형상이 대조군과 가장 유사하나, 가열 시간이 증가함에 따라 불균일도가 증가하였다. 이는 쌀의 약 70~80%를 이루고 있는 전분의 결정성이 온도에 따라 변화하기 때문으로 사료되며, Biliaderis 등(1986) 및 Xie 등(2009)의 연구에서 본 연구와 유사한 온도 범위에서 온도가 증가할수록 아밀로오스와 지방의 결합의 가역적인 melting transition이 발생한다고 보고된 바 있다. 이러한 melting으로 인하여 형상의 변화 정도가 온도에 비례하는 것으로 추정된다.

Table 2. Thermal processing times estimated at different thermal sterilization temperatures using the heat penetration curves obtained at the cold point

Temperature (°C)	t_{min}	t_{max}
121	26.6	36.6
100	38.5	73.8
95	63.4	174.9

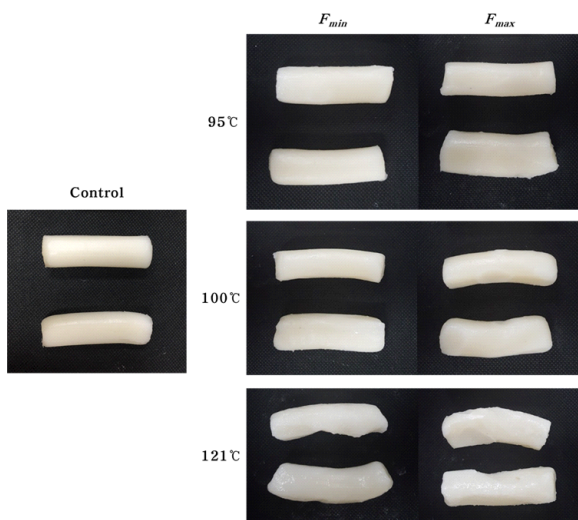


Fig. 4. Shape of *Tteokbokki* rice cake of control, sterilized at F_{min} and F_{max} of 95, 100, 121 °C (a) and the processed images of rice cakes (b).

떡의 형상 변화는 Eq. (13)에 의하여 비균일도를 측정하였으며, 이는 떡의 형상이 가열살균 후 변화함에 따라 시료 간 나타나는 형상의 차이를 계산한 값이다(Table 3). 비균일도 측정 결과, 대조군의 경우 시료 간의 비균일도는 2.75를 나타내었으며, 121°C에서는 Fig. 4의 형상에서 볼 수 있듯이 시료 간의 비균일도가 F_{min} 과 F_{max} 일 때 11.65와 11.93으로 매우 높음을 확인할 수 있었으며, 이는 121°C에서 가열 시간에 관계없이 떡의 형상이 크게 변화함을 의미한다. 살균 온도 100°C에서는 최소, 최대 F -value에서 6.91 및 9.64의 값을 나타내었으며, 살균 시간이 증가함에 따라 증가하는 값을 나타내었다. 반면 95°C에서는 최소, 최대 F -value에서 2.81과 5.62로 control과 가장 유사한 수치를 나타내어, 가열 시간에 따른 떡볶이 떡의 형상 변화가 매우 적음을 정량적으로 확인할 수 있었다.

이를 통하여 떡볶이 떡의 살균 시 외관 품질을 위해서는

Table 3. Non-uniformity parameter (NUP) values of *Tteokbokki* rice cake after sterilization at various sterilization temperatures (95, 100, and 121 °C)

Temperature(°C)	NUP	
	F_{min}	F_{max}
Control	2.75±0.96 ^a	
95	2.81±0.82 ^a	5.62±0.83 ^b
100	6.91±1.13 ^b	9.64±1.63 ^c
121	11.65±1.03 ^d	11.93±0.46 ^d

^{a-d} Means in the column with different superscripts are significantly different at $p<0.05$.

동일한 살균도를 만족하여도 고온(121°C) 살균은 피해야 함을 확인하였다. 통상적으로 이용하는 100°C의 경우에도 열저항성이 강한 *B. cereus* 균을 타겟으로 살균 시 살균 시간의 증가에 따라 형상의 변화가 나타날 수 있음을 알 수 있었다.

4. 산 침지에 따른 떡의 pH 변화와 모델링

떡볶이 떡의 열처리 살균 이전에 초기 균 수의 감균을 위한 전처리로써 산미료 10% 수용액에 떡을 침지하였다. 목표하는 pH에 도달하기 위한 산미료 침지 시간을 확인하기 위하여 침지 시간 동안 떡의 pH 변화를 확인하였으며, 이를 수소이온농도로 계산하여 Peleg 모델로 모델링한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 떡을 25°C에서 침지하여 측정하였을 때 시간에 따라 수소이온농도가 증가함을 확인하였으며, 이를 모델링한 결과 Peleg 상수 K_1 은 4.228, K_2 는 0.0019임을 확인하였다 ($R^2>0.99$). 이를 통하여 산미료 침지 시의 평형 수소이온농도는 528.07 mol/mm³로 이를 pH로 계산하였을 때 pH 3.28임을 알 수 있었다. 본 연구에서 목표로 하는 산미료 전처리 후의 pH 5.5, 5.0, 4.5, 4.0, 3.5에 도달하기 위한 산 침지 시간은 각각 11, 41, 135, 519, 3,327 s임을 예측할 수 있었다.

5. 산침지에 의한 감균지수 변화

산침지 전처리를 통한 *B. cereus* 균의 초기 균수 변화를 확인하였으며, 이를 통하여 초기 균수의 감균에 따른 총 살균 시간의 감소를 계산하였다(Table 4). 산침지에 따른 초기 균수 변화의 확인 결과, 산침지 전 *B. cereus*의 균수는 4.64±0.08 log CFU/g으로, 산미료 침지에 따라 균수가 감소함을 확인하였다. 떡의 pH를 5.0으로 하였을 때부터 균수의 유의적인 차이가 발생하였으며, pH 5.0에서는 3.80 log CFU/g, pH 4.5에서

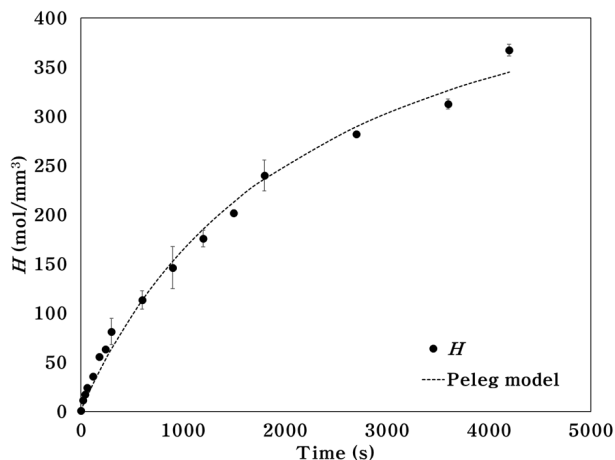


Fig. 5. Changes in the hydrogen ion concentration (H) in the rice cakes during acid soaking with 10% of acid. Dotted line indicates the estimated values of H from Peleg model.

Table 4. Cell count of *Bacillus cereus* in *Tteokbokki* rice cake before and after sterilization

pH	Before sterilization (log CFU/g)	m_{acid}	m_{final}
Control (6.0)	4.64±0.08 ^a	-	12.00 ($m_{thermal}$)
5.5	4.30±0.43 ^{ab}	0.34	11.66
5.0	3.80±0.14 ^{bc}	0.84	11.16
4.5	3.24±0.09 ^c	1.40	10.60
4.0	ND	4.64	7.36
3.5	ND	4.64	7.36

^{a-c} Means in the column with different superscripts are significantly different at $p < 0.05$.

는 3.24 log CFU/g, pH 3.5 이하에서는 검출이 되지 않아 산침지가 떡볶이 떡의 위해균인 *B. cereus*의 저해에 효과가 있음을 알 수 있었다. 이를 통하여 초기 균 수의 감소를 Eq. (10)에 이용하여 m_{acid} 를 계산하였으며, Eq. (11)을 계산하여 m_{final} 이 산침지 전 12에서 최대 7.36까지 감소함을 확인하였다.

이를 통하여 Table 5와 같이 Eq. (12)로 산미료 침지 후 살균 온도에 따른 새로운 F -value(F_{final})의 계산이 가능하였다 (Table 5). 그 결과, 산미료 침지 후 떡의 pH가 감소함에 따라 모든 살균 온도에서 F -value가 감소하며, 특히 pH 4.0 이하에

Table 5. Adjusted F -values using the reduction exponents at various pH by acid soaking

pH		F_{min}	F_{max}	t_{min}	t_{max}
Control (6.0)	95°C	7.680	84.480	63.4	175.00
	100°C	2.964	32.628	38.5	73.80
	121°C	0.060	0.660	26.9	37.10
5.5	95°C	7.463	82.097	62.8	172.10
	100°C	2.880	31.708	38.3	72.80
	121°C	0.058	0.641	26.8	36.90
5.0	95°C	7.143	78.577	62.0	167.90
	100°C	2.757	30.348	38.0	71.60
	121°C	0.056	0.614	26.7	36.70
4.5	95°C	6.785	74.631	61.0	163.20
	100°C	2.618	28.824	37.6	70.28
	121°C	0.053	0.583	26.2	36.40
4.0	95°C	4.711	51.818	54.7	135.00
	100°C	1.818	20.013	35.1	63.16
	121°C	0.037	0.405	25.5	34.70
3.5	95°C	4.711	51.818	54.7	135.00
	100°C	1.818	20.013	35.1	63.16
	121°C	0.037	0.405	25.5	34.70

서 크게 감소됨을 확인하였다. 또한, 떡볶이 떡의 95°C, 100°C, 121°C에서의 살균 시간에 따른 열침투곡선(Fig. 3(b))을 이용하여 실제 살균 공정에서의 가열 시간을 계산하였다. 산침지 이후 총 살균 시간은 산침지를 하지 않은 경우에 비하여 pH 4.0 이하에서 95°C의 경우 최소 54.7 min, 최대 135 min, 100°C의 경우 최소 35.1 min, 최대 63.2 min, 121°C에서는 최소 25.5 min, 최대 34.7 min으로 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 살균 온도가 낮을수록 산침지가 총 살균시간의 감소에 더 큰 영향을 미치며, 이는 산침지 전처리가 가열살균공정의 시간을 단축시켜 공정 효율을 증가시키고 가열 시간에 따른 떡의 형상 변화를 감소시켜 품질 변화를 최소화할 수 있음을 나타낸다. 이와 유사하게 식품의 pH, 수분활성도, 염농도 등의 조건에 따른 미생물 수의 변화와 열처리 시간에 따른 품질 변화(영양성분, 색, 단백질)를 최적화하기 위한 연구가 우유, 당근, 옥수수, 자몽, 시금치 등의 다양한 식품에서 이루어진 바 있다(Awuah 등 2007).

6. 산침지-가열살균 복합공정에서의 형상 변화

산침지에 의한 형상 변화를 확인하기 위하여 상온 침지 시 각 pH에 따른 형상 변화를 관찰하였다(Table 6). 산침지 공정 중 형상 변화는 관찰되지 않았다. 떡의 산침지-가열살균 복합공정에 의한 형상 변화 분석은 대조군에서 형상 변화가 가장 적었던 살균 온도 95°C에서 수행하였다. 그 이유는 121°C와 100°C의 경우, 이미 열처리에 의한 심한 형상 변화가 관찰되었으므로, 조절된 pH가 가열 살균 시 형상 변화에 미치는 영향을 관찰하고자 가열 온도 95°C에서 pH 조절을 한 떡의 형상 변화만을 확인하였다. 살균 이전에는 pH의 변화에 따른 형상의 큰 변화가 없었으나, 산침지-가열살균 복합공정 시 pH에 의한 형상 변화가 나타났다(Table 6). 떡의 pH 4.5~5.5의 범위에서는 모든 살균 시간에서 형상 변화가 관찰되었으며,

Table 6. Non-uniformity parameter (NUP) values of *Tteokbokki* rice cake at F_{min} and F_{max} after adjusting pH at 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, and 6.0 (control) before applying thermal sterilization at 95°C and after the sterilization at 95°C

pH	NUP		
	Before sterilization	F_{min}	F_{max}
Control(6.0)	2.75±1.23 ^a	2.81±1.26 ^a	5.62±1.76 ^{cd}
5.5	2.49±0.93 ^a	3.16±1.68 ^{ab}	6.90±1.32 ^{de}
5.0	2.73±0.26 ^a	4.73±0.63 ^{abcd}	6.10±0.32 ^{cd}
4.5	2.65±1.03 ^a	4.33±1.59 ^{abc}	5.41±1.64 ^{bcd}
4.0	2.83±1.72 ^a	3.98±1.36 ^{abc}	4.59±0.36 ^{abcd}
3.5	3.01±1.32 ^{ab}	8.43±1.42 ^{ef}	9.29±1.53 ^f

^{a-f} Means in the column with different superscripts are significantly different at $p < 0.05$.

비균일도는 최소 및 최대 살균시간에서 최대 4.73 및 6.90의 값을 보여주었다. 이는 pH가 감소함에 따라 떡볶이 떡의 구조가 변화하면서 발생한 현상으로, 대조군에서는 최소 *F*-value에서 형상 변화가 나타나지 않았으나, pH가 낮은 시료에서는 대조군과 유사한 열처리 시간에도 불구하고 형상의 변화가 나타났다. 그러나 pH 4.5와 4.0에서는 pH 5.0에 비하여 유의적으로 낮은 비균일도를 나타내었다. 특히 pH 4.0에서는 산침지를 한 시료들 중 가장 낮은 비균일도의 변화를 보였으며, 이는 가열살균시간의 감소로 인하여 pH 조절 후 열처리 시간이 감소함에 따라 구조에 적은 영향을 미친 것으로 추정된다. 그러나 pH 3.5에서는 최소, 최대 살균 시간에서 비균일도 8.43 및 9.29로 심한 형상 변화가 관찰되었다.

산침지-가열살균 복합공정의 경우, 단일 가열살균 공정에서 형상 변화를 보이지 않았던 95°C의 최소 살균 시간의 경우에도 pH 3.5에서는 큰 형상 변화를 나타내었다. 그러나 pH 4.0에서는 대조군과 유의적인 형상 차이가 나타나지 않았다. 이는 낮은 pH에도 불구하고 pH 4.0에서의 감균 효과($m_{acid}=4.64$)로 가열 시간이 기존에 비하여 약 40 min 감소하였기 때문으로 판단된다. 따라서 떡의 산침지-가열살균 복합 공정에서의 형상 변화는 가열 온도, 시간뿐만 아니라, pH의 변화에도 영향을 받는 것임을 보여주었다.

7. 가열 온도, 가열 시간 및 pH에 따른 떡의 전분 용출도

가열 살균 형상변화, 침지 시 형상변화, 복합공정에서의 형상변화는 가열 온도와 시간, 그리고 떡의 pH가 구조에 영향을 주어 떡 내부에 전분이 용출됨으로 생기는 현상으로 추정되므로 가열 온도와 시간, pH에 따른 떡의 전분 용출도를 확인하였다(Fig. 6). 가열 살균 온도 121°C, 100°C, 95°C에서 시간에 따른 떡의 전분 용출도를 480 nm에서의 흡광도로 측정된 결과, 121°C의 경우 용출 초기부터 전분이 동일 시간에

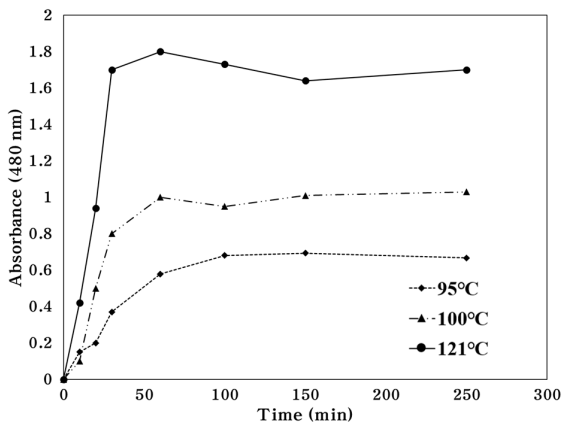


Fig. 6. Changes in the absorbance at 480 nm of the solution at 95, 100, 121°C due to the amount of solubilized starch content.

서 95°C와 비교하여 약 3배의 용출도를 보여주며, 매우 빠른 용출 속도를 나타내었다. 121°C에서는 약 30 min에서 평형에 도달하였으며, 평형 시의 흡광도는 평균 1.71이었다. 100°C의 경우, 121°C에 비하여 낮은 용출 속도를 나타내었으나, 약 60 min에서 용출은 평형에 도달하였으며, 평형 시의 흡광도는 평균 1.00이었다. 95°C는 용출 속도가 상대적으로 매우 느리며, 100 min에 이르러 평형 흡광도 0.68에 도달하였다. 이를 통하여 가열 살균 온도 및 시간이 떡 내부의 전분을 용출시키는 변수임을 확인하였다.

또한 떡의 pH를 산미료 내에서 침지하며 조절하는 동안 산미료의 흡광도 변화 및 pH 3.5인 떡을 95°C에서 가열할 때의 전분 용출도를 확인하였다(Fig. 7). 떡의 pH를 산미료 내에서 침지하며 조절하는 동안 산미료 농도의 변화는 pH 3.5에서 최대 0.23으로, 가열 살균에 비하여 용출도가 적음을 확인하였다(Fig. 7(a)). 그러나 pH 3.5인 떡을 95°C에서 열처리함에 따라 전분 용출도는 60 min 동안 최대 1.16으로, 산침지를 하지 않고 가열 살균을 수행하였을 때와 비교하여 201% 증가하였음을 알 수 있었다(Fig. 7(b)). 이와 같이 가열 온도와 가열 시간, pH가 전분의 용출 속도에 영향을 주는 이유는 떡볶이 떡의 구조가 pH에 의하여 변화되기 때문이다(Kang 등 2013). 떡볶이 떡의 유기산 및 증숙 처리를 통하여 전분 용출률을 측정한 Cheon 등(2017)의 연구에서도 전분 손실은 식감과 품질의 저하를 나타내었다. 떡의 경우 고형분의 함량이 50% 이상으로, 증자 후 전분이 수분의 양에 따라 팽윤되어 있는 상태로 존재한다. 이는 Yu & Han(2004)과 Kang 등(2012)의 연구에서 쌀의 수침 시간 및 떡의 가수량을 달리할 때 호화도가 변화하여 조직감이 달라지는 결과를 통하여 알 수 있으며, 호화 전 옥수수 전분의 pH에 의한 변화와 유사한 결과를 나타내었다. 옥수수 전분을 citric acid로 pH를 3.0에서 6.0 사이로 조절하였을 때, pH가 3.6보다 낮을 때 전분 granule이 파괴되고 산에 의하여 글루코오스 체인이 가수분해되는 것을 확인할 수 있었다(Hirashima 등 2005). 따라서 이와 같이 산에 의하여 가수분해된 전분이 가열살균 시 전분의 용출에 영향을 미쳐 가열 살균 온도 및 시간에 따라 용출도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

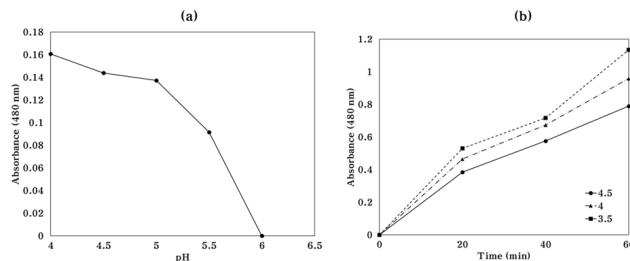


Fig. 7. Changes in absorbance at 480 nm of solution at different pH (a) and a thermal processing time at 95°C (b).

떡의 전분 용출도와 함께 형상 변화인 NUP를 측정하였으며, Fig. 6과 Fig. 7에서 측정된 용출도와 NUP의 상관관계를 도출하였다(Fig. 8). 용출도와 비균일도는 $R=0.92$ 로 강한 양의 상관관계를 보여주었다. 이 결과는 가열 살균, 산침지, 산침지-가열살균 복합공정에서 관찰된 형상 변화가 공정 조건에 따른 전분의 용출도와 밀접한 관계가 있음을 시사한다.

8. 조직감

대조군과 pH가 조절된 떡의 살균 전과 후 조직감 특성 중 경도(hardness), 겹성(gumminess), 씹힘성(chewiness), 탄성(springiness), 응집성(cohesiveness), 부착성(adhesiveness)을 비교한 결과, 살균 전 pH만 조절한 시료의 모든 특성에서 대조군과 유의적인 차이가 나타나지 않음을 확인하였다(Table 7). 그러나 살균 후 pH 3.5에서 경도, 겹성, 씹힘성의 경우, F_{min} 과 F_{max} 가 모두 대조군에 비하여 유의적으로 낮아지는 결과를 보여주었다. 이는 낮은 pH가 떡의 구조에 영향을 주어 조직감을 저하시키기 때문으로 추정된다. 반면 pH 4.0과 4.5의 경도는 F_{min} 과 F_{max} 모두 대조군과 유의차가 없는 결과를 보였다. 그러나 pH 5.0과 5.5의 경우, pH 4.0과 4.5에 비해 긴 살균 시간으로 인하여 F_{max} 에서는 경도가 낮아지는 것이 관찰되었다. 떡볶이 떡에 자몽 추출물과 산도조절제를 첨가한 Kang 등

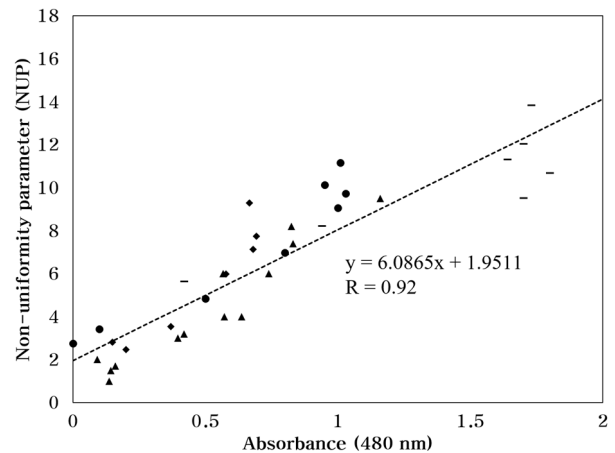


Fig. 8. Correlation between absorbance at 480 nm and NUP.

(2012)의 연구에서도 pH의 감소에 따라 경도와 씹힘성이 감소함을 확인하였다. 본 연구에서는 배합비에 산을 첨가하지 않고 침지함으로써 침지 후에는 조직감의 변화가 크지 않았으나, 산침지-복합공정이 pH 4.0~4.5일 때에는 가열 시간의 단축으로 조직감에 큰 영향을 주지 않고 pH가 그보다 낮은 3.5일 때 및 열처리 시간이 길어짐에 따라 조직감에 영향을 주는 것을 확인하였다.

Table 7. TPA parameters of *Tteokbokki* rice cake after applying the sequential process of the combination of acid soaking and thermal sterilization

	pH	Hardness (g)	Gumminess (g)	Chewiness (mJ)	Springiness (mm)	Cohesiveness	Adhesiveness (mJ)
Control (6.0)	Before sterilization	3,152.00±378.82 ^a	2,261.18±363.68 ^a	129.00±20.08 ^a	5.84±0.33 ^{ab}	0.74±0.03 ^{abc}	19.86±3.97 ^a
	F_{min}	2,840.50±281.44 ^{ab}	2,048.00±206.23 ^a	125.83±14.19 ^a	6.26±0.28 ^a	0.72±0.02 ^{bcd}	15.14±3.60 ^{abcd}
	F_{max}	3,018.75±404.65 ^a	2,207.00±290.09 ^a	129.66±18.07 ^a	5.99±0.16 ^{ab}	0.73±0.01 ^{bc}	9.11±1.97 ^c
5.5	Before sterilization	3,164.50±320.26 ^a	2,250.42±342.74 ^a	128.30±15.68 ^a	5.89±0.62 ^{ab}	0.74±0.02 ^{abc}	19.24±3.57 ^a
	F_{min}	2,864.50±274.00 ^{ab}	2,075.61±259.40 ^a	124.09±43.00 ^a	6.24±0.57 ^a	0.72±0.02 ^{bcd}	12.36±3.76 ^{bcd}
	F_{max}	2,542.50±351.24 ^{bc}	2,103.00±243.64 ^a	130.65±15.62 ^a	5.82±0.47 ^{ab}	0.72±0.01 ^{bcd}	8.43±7.90 ^c
5.0	Before sterilization	3,160.00±350.27 ^a	1,625.33±192.56 ^{bc}	129.67±20.58 ^a	5.61±0.23 ^{ab}	0.75±0.02 ^{abc}	18.80±3.76 ^a
	F_{min}	2,753.62±206.25 ^{ab}	2,097.08±315.92 ^a	126.24±30.00 ^a	6.24±0.60 ^a	0.72±0.01 ^{bcd}	11.86±4.20 ^{bcd}
	F_{max}	2,350.26±343.50 ^{bc}	2,053.00±209.52 ^a	133.92±12.42 ^a	5.97±0.18 ^{ab}	0.73±0.02 ^{bcd}	8.10±1.73 ^c
4.5	Before sterilization	3,167.50±337.26 ^a	2,222.00±308.54 ^a	128.64±21.83 ^a	5.94±0.88 ^{ab}	0.75±0.03 ^{abc}	17.03±3.84 ^{ab}
	F_{min}	2,703.33±520.80 ^{ab}	2,059.00±364.34 ^a	123.18±14.42 ^a	6.19±0.88 ^a	0.75±0.02 ^{ab}	12.60±4.22 ^{bcd}
	F_{max}	2,670.00±298.16 ^{ab}	1,991.50±172.57 ^{ab}	134.13±7.07 ^a	6.16±0.46 ^a	0.72±0.02 ^{bcd}	10.33±2.42 ^{de}
4.0	Before sterilization	3,165.00±464.84 ^a	2,217.00±329.64 ^a	117.32±17.68 ^{ab}	5.49±0.22 ^b	0.72±0.02 ^{cd}	15.37±2.94 ^{abcd}
	F_{min}	2,961.25±163.42 ^{ab}	2,194.25±113.68 ^a	128.58±7.66 ^a	5.98±0.31 ^{ab}	0.74±0.01 ^{abc}	11.47±4.08 ^{bcd}
	F_{max}	2,850.75±256.20 ^{ab}	2,235.35±329.70 ^a	122.63±10.04 ^a	5.75±0.41 ^{ab}	0.71±0.02 ^d	7.60±1.72 ^c
3.5	Before sterilization	2,821.00±255.30 ^{ab}	2,274.40±239.34 ^a	135.00±12.95 ^a	6.11±0.28 ^a	0.77±0.02 ^a	16.65±3.78 ^{abc}
	F_{min}	2,147.50±303.05 ^{bc}	1,662.20±272.98 ^b	98.78±19.18 ^b	6.04±0.27 ^{ab}	0.73±0.01 ^{bc}	15.70±4.67 ^{abcd}
	F_{max}	1,885.00±88.13 ^c	1,291.80±115.63 ^c	75.32±7.38 ^c	5.94±0.19 ^{ab}	0.66±0.01 ^c	11.20±3.29 ^{cde}

^{a-c} Means in the column with different superscripts are significantly different at $p<0.05$.

9. 색도

떡의 pH를 조절 후 95°C에서 F_{min} , F_{max} 일 때의 시간을 적용하여 살균하였을 때의 색도를 측정하고, 백색도를 계산하여 대조군과 비교하였다(Table 8). 백색도의 계산 결과 pH가 감소함에 따라 유의적으로 증가하였으며, 떡을 산침지하였을 때 떡의 색이 더 희게 변하는 것을 확인하였다. 떡의 열처리 살균의 여부 및 F -value에 따라서는 산침지-복합공정에서는 그 차이가 나타나지 않았다.

10. 관능평가

떡의 pH를 조절한 후 95°C에서 F_{min} , F_{max} 을 적용하여 살균한 떡의 관능평가를 수행하고, 이를 대조군과 비교하였다(Table 9). 대조군의 살균 후의 관능 검사 결과와도 비교하기 위하여 대조군도 F_{min} , F_{max} 를 적용하여 관능검사를 실시하였다. 대조군을 살균한 경우 맛과 외관에서는 살균 전에 비하여 점수가 낮았으며, 다른 항목은 점수가 동일하였다. 떡의 pH가 3.5인 경우 색을 제외한 모든 항목에서 가장 낮은 점수를 F_{min} , F_{max} 모두에서 받았으며, pH 4.0과 4.5의 경우 대조군을 살균한 시료와 전체적 기호도 면에서 큰 차이가 나지 않았다. 맛과 향의 경우에는 pH가 감소할수록 산미에 의하여 감소하다가 pH 3.5에서는 신맛이 너무 강하여 부정적인 선호도를 나타내었다. 반면에 pH가 감소할수록 색도에 대한 선호도는 높아졌다. 이는 산미료에 의하여 떡의 백색도가 높아져 떡의 선호도 요인으로 작용하였기 때문이며, 유사하게 Hwang & Hwang(2015)의 연구에서도 백색의 설기떡이 가장 높은 선호도를 받았다. pH 5.5와 6.0의 경우, 살균 시간에 따라 조직

Table 8. Whiteness of *Tteokbokki* rice cake after applying the sequential process of the combination of acid soaking and thermal sterilization

Whiteness	Before sterilization	F_{min}	F_{max}
Control (6.0)	45.62±0.34 ^a	46.16±0.63 ^a	46.74±0.34 ^a
5.5	54.61±0.36 ^b	54.70±0.29 ^b	54.83±0.14 ^b
5.0	55.64±0.28 ^c	55.82±0.36 ^c	55.84±0.23 ^c
4.5	56.03±0.29 ^d	56.25±0.53 ^d	56.19±0.42 ^d
4.0	57.95±0.31 ^e	57.96±0.23 ^e	57.75±0.31 ^e
3.5	59.22±0.22 ^f	59.13±0.20 ^f	60.02±0.56 ^f

^{a-f} Means in the column with different superscripts are significantly different at $p<0.05$.

감 선호도에 차이를 보였다. F_{min} 으로 살균한 시료의 경우 대조군과 유의차가 없었으나, F_{max} 로 살균한 시료의 경우 유의적으로 기호도가 감소함을 확인하였다. 반면 pH 4.5와 4.0 떡의 경우, F_{min} , F_{max} 모두에서 전체적 기호도가 높았으며, 이는 살균 시간이 pH 5.0 이상에 비하여 상대적으로 짧아 살균 시간에 의한 조직감의 변화가 적었기 때문으로 추정된다. 또한, 밝은 색으로 인하여 약한 산미에도 불구하고 전체적 선호도가 높아, pH 4.0에서의 산미는 소비자들에게 허용 가능한 범위임을 확인할 수 있었다. 외관의 경우, 살균 시간이 긴 pH 5.0 이상에서는 대조군보다 낮은 점수를 나타내었다. 또한, pH 3.5에서는 가장 낮은 점수를 나타내었다. 이는 pH와 살균 시간에 따른 형상의 변화에 기인한다고 볼 수 있다. 반면, pH 4.0과 4.5는 대조군과 차이가 없는 점수를 나타내었다. 이

Table 9. Sensory evaluation of *Tteokbokki* rice cake after applying the sequential process of the combination of acid soaking and thermal sterilization

pH	Taste	Flavor	Texture	Appearance	Color	Overall acceptability	
6.0 (Before sterilization)	5.8±0.79 ^a	5.8±1.14 ^a	5.9±0.74 ^a	6.6±0.52 ^a	4.5±0.97 ^{abc}	6.4±0.70 ^a	
6.0	F_{min}	5.7±0.82 ^a	5.6±1.07 ^a	5.8±1.14 ^{ab}	6.4±0.52 ^{ab}	6.3±0.67 ^{ab}	
	F_{max}	5.3±0.82 ^{abc}	5.6±0.84 ^a	5.6±0.70 ^{ab}	5.9±0.57 ^{abc}	4.2±1.23 ^a	6.4±0.97 ^a
5.5	F_{min}	5.5±1.08 ^{ab}	5.8±0.79 ^a	5.9±0.74 ^a	6.0±1.15 ^{abc}	4.7±0.95 ^{abcd}	6.0±1.05 ^{ab}
	F_{max}	5.8±0.79 ^a	5.6±0.70 ^a	5.2±0.79 ^{abc}	5.3±0.82 ^{bcde}	4.8±0.92 ^{abcde}	6.1±0.74 ^{ab}
5.0	F_{min}	5.0±0.67 ^{abc}	5.6±1.07 ^a	5.0±1.15 ^{abc}	4.8±0.92 ^{cde}	5.5±0.85 ^{bcdef}	5.5±1.18 ^{bc}
	F_{max}	5.6±0.84 ^{ab}	5.6±0.70 ^a	4.4±0.97 ^{cd}	4.3±0.95 ^{de}	5.0±0.67 ^{abcde}	5.2±0.92 ^c
4.5	F_{min}	4.7±1.16 ^{bc}	4.5±1.08 ^b	5.3±1.34 ^{abc}	5.8±1.55 ^{abc}	5.6±1.35 ^{cdef}	5.8±0.42 ^{abc}
	F_{max}	5.2±0.79 ^{abc}	4.3±1.48 ^b	5.0±1.64 ^{abc}	5.5±0.67 ^{abcd}	5.0±1.45 ^{abcde}	5.3±0.53 ^{ab}
4.0	F_{min}	4.5±1.84 ^c	4.9±1.79 ^{ab}	5.3±1.42 ^{abc}	5.6±1.71 ^{abc}	5.9±1.37 ^{ef}	5.5±0.53 ^{bc}
	F_{max}	4.9±0.99 ^{abc}	5.2±0.70 ^{ab}	4.7±1.64 ^{bc}	5.7±1.85 ^{abc}	5.1±1.45 ^{abcdef}	5.5±1.84 ^{bc}
3.5	F_{min}	1.1±0.32 ^d	1.6±0.52 ^c	3.5±1.08 ^{de}	4.1±1.97 ^e	6.2±0.92 ^f	2.3±1.16 ^d
	F_{max}	1.5±0.71 ^d	1.9±0.88 ^c	2.9±0.88 ^e	2.9±1.66 ^f	5.7±0.95 ^{def}	1.5±0.53 ^e

^{a-f} Means in the column with different superscripts are significantly different at $p<0.05$.

를 통하여 떡볶이 떡의 산 침지 시 pH 4.0 이상에서는 선히도에 문제가 없으며, pH 3.5부터는 Hirashima 등(2005)의 연구에서 전분의 파괴와 함께 점도가 감소하는 결과로부터 추정할 수 있듯이 조직감과 외관 품질이 매우 저하됨을 알 수 있었다.

요약 및 결론

쌀가공 식품의 지표균으로 사용되는 *B. cereus*의 균주에 따른 *D*-value를 기준으로 떡볶이 떡의 유통기한 연장을 위하여 사용되는 산침지-가열살균의 복합공정에서의 살균도인 *F*-value를 $m=12$ 와 각 *D*-value의 곱으로 계산하여 *B. cereus* 균주에 따라 떡볶이 떡이 가질 수 있는 최소와 최대의 *F*-value를 도출하여 떡의 살균범위를 설정하였다. 가열살균시간을 계산하기 위하여 400 g으로 포장된 떡볶이 떡의 냉점을 컴퓨터 시뮬레이션과 실제 측정을 통하여 계산하였다. 냉점은 기하학적인 중심에 위치함이 시뮬레이션과 실제 측정을 통하여 확인되어 포장된 떡의 각 살균온도에 따른 기하학적 중심에서의 열침투곡선을 구하여 *F*-value에 따른 가열살균시간을 도출하였다. 최소 및 최대 *F*-value에 따른 각 살균온도 95, 100, 121.1°C에서의 최소가열살균시간은 26.6, 38.5, 63.4분이며, 최대가열살균시간은 36.6, 73.8, 174.9분으로 계산되었다. 영상분석 알고리즘을 통하여 가열살균 후의 변화된 형상의 정도를 비균일도를 계산하여 정량화하여 비교하였고, 살균온도 121.1°C에서는 형상변화가 최소 및 최대 살균시간에서 모두 나타났으며, 균일도 11.65와 11.95를 보여주었다. 반면 살균온도 100°C에서는 최소 살균시간에서의 균일도는 6.91, 최대 살균시간에서의 균일도는 9.64로 살균시간에 따라 가열시간에 따라 형상의 변화가 심해지는 것을 관찰하였다. 살균 온도 95°C의 경우, 최소가열 시간에서는 대조군과 유의차가 없이 형상변화가 없음을 보여주었으나, 최대 살균시간에는 균일도가 5.62로 증가함을 보여주었다. 이는 형상변화가 가열살균의 온도와 시간에 따라 영향을 받음을 보여주는 결과이다. 산침지 공정을 상온(25°C)에서 적용 시 침지시간에 따른 떡의 평균 pH의 변화를 Peleg 모델을 통하여 예측하여 pH 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5의 조건으로 떡의 pH를 조절하여 산침지 시의 형상변화를 분석하였다. 상온에서 pH 변화에 따른 형상변화는 유의미한 차이가 없었다. 산침지에 의한 감균효과를 측정하기 위하여 산침지 시의 떡의 pH 변화에 따른 감소지수 (*m*)의 변화를 pH 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5에서 확인하였다. 산침지 시 pH 4.0 이하에서는 *m*값이 4.6 이상으로 유의미한 감균효과가 관찰되었으나, pH 4.5 이상에서는 1~2 log 정도의 감균효과 만이 관찰되었다. 산침지 후의 감균결과를 바탕으로 *m*값을 보정하여 산침지-가열살균 복합공정에서의

F-value를 보정하여 감소된 살균시간을 계산하여 복합살균 공정을 수행하였다. 가열살균과 산침지-가열살균 복합공정에서의 압출떡의 형상의 변화를 영상분석을 통하여 균일도를 계산하여 정량화하였다. 본 연구에서 발견한 새로운 사실은 산침지 시에 나타나지 않은 형상의 변화가 살균과정을 거치며 유의미하게 나타난다는 것이다. 가열 살균만으로는 형상의 변화가 나타나지 않는 95°C에서 pH가 조절된 떡을 살균할 경우 pH 4.5~5.5, pH 3.5에서는 유의미한 변형이 관찰되었다. 이와 같이 가열살균과 산침지에 따른 형상의 변화는 가열과 산에 의한 떡 내부의 전분이 용출되어 생기는 현상으로 보고되고 있고, 이를 확인하기 위하여 전분의 용출도 실험을 다양한 pH와 살균온도인 121.1, 100, 95°C에서 진행하였으며, 그 결과 용출도는 가열온도와 가열시간 및 떡의 pH에 영향을 받는 것이 확인되었다. 용출도와 비균일도는 강한 양의 상관관계($R=0.92$)를 나타내었다. 이는 산침지-가열살균복합공정에서 떡의 형상변화가 복합공정의 처리 조건인 가열온도와 가열시간 및 pH에 따라 발생할 수 있음을 나타내는 결과이다. 떡의 pH가 4.0인 상태에서 95°C에서 살균을 할 경우 본 연구에서 도출된 최소 및 최대 *F*-value에서의 형상변화가 최소화되는 것을 확인하였다. 산침지-가열살균 복합공정에서의 조직감의 변화를 측정하기 위하여 TPA측정법을 사용하여 얻은 조직감의 특성 중 hardness, gumminess, chewiness를 측정할 결과 pH 4.0~4.5에서는 유의미한 차이가 발견되지 않았으며, pH 5.0~5.5의 경우 최대 *F*-value에서 가열시간 증가에 따른 조직감의 감소가 나타났으며, pH 3.5의 경우 모든 가열조건에 따라 조직감이 감소하는 것을 보여 주었다. 색도의 경우는 pH가 감소할수록 백색도가 유의미하게 증가하는 결과를 가져왔다. 산침지-가열살균 복합공정을 pH 4.0에서 살균온도 95°C를 적용할 시 유의미한 가열시간의 단축($p<0.05$)과 함께 떡의 형상변화를 최소화할 수 있었고, 품질 특성인 조직감과의 변화를 최소화할 수 있었으며, 백색도의 증가를 가져올 수 있었다. 또한, 관능검사 시 수용도(종합적인 기호도)가 높은 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 안전성과 품질뿐만 아니라, 생산성에 영향을 미치는 살균 시간을 고려할 경우 pH 4.0에서의 복합 공정이 효율적인 상온 유통 떡볶이 제조 공정으로 사용될 가능성을 보여주었다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: C1013497-01-02)의 지원에 의해 이루어진 것임. 2017년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호: 520170193).

References

- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists
- Auwah GB, Ramaswamy HS, Economides A. 2007. Thermal processing and quality: Principles and overview. *Chem Eng Process* 46:584-602
- Azanza MPV, Centeno EDF. 2007. Inactivation of *Bacillus cereus* spores during rice cooking. *Food Sci Technol Res* 10:161-163
- Biliaderis CG, Page CM, Maurice TJ, Juliano BO. 1986. Thermal characterization of rice starches: A polymeric approach to phase transitions of granular starch. *J Agric Food Chem* 34:6-14
- Cheon HS, Cho WI, Lee SJ, Chung MS, Choi JB. 2017. Acidic and steaming treatments of tteokbokki rice cake to improve its microbial and textural properties. *Korean J Food Sci Technol* 49:502-506
- Choi EY, Yu JH, An HJ. 2017. Quality properties of Omija beverage based on the storage container and storage temperature. *2017* 46:1366-1372
- Choi JB, Cheon HS, Chung MS, Cho WI. 2018. Pretreatment sterilization of garlic and ginger using antimicrobial agents and blanching. *Korean J Food Sci Technol* 50:172-178
- Hariram U, Labbe RG. 2016. Growth and inhibition by spices of growth from spores of enterotoxigenic *Bacillus cereus* in cooked rice. *Food Control* 64:60-64
- Hirashima M, Takahashi R, Nishinari K. 2005. Effects of adding acids before and after gelatinization on the viscoelasticity of cornstarch pastes. *Food Hydrocolloid* 19:909-914
- Hwang YR, Hwang ES. 2015. Characteristics and antioxidant activity of sulgidduk prepared by addition of aronia powder (*Aronia melanocarpa*). *Korean J Food Sci Technol* 47:452-459
- Iturriaga LB, de Mishima BL, Anon MC. 2006. Effect of amylose on starch pastes viscoelasticity and cooked grains stickiness in rice from seven argentine genotypes. *Food Res Int* 39:660-666
- Jo JS, Han YS. 2003. Effects of Mokdanpi (*Paeonia suffruticosa*) addition on the shelf-life and the characteristics of rice cake and noodle. *Korean J Food Cook Sci* 19:114-120
- Juliano P, Bilbao-Sainz C, Koutchma T, Balasubramaniam VM, Clark S, Stewart CM, Dunne CP, Barbosa-Canovas GV. 2012. Shelf-stable egg-based products processed by high pressure thermal sterilization. *Food Eng Rev* 4:55-67
- Kang HJ, Lee JK, Lim JK. 2012. Quality characteristics of Toppokki Garaedduk with different moisture ratios. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41:561-565
- Kang HJ, Park JD, Lee HY, Kum JS. 2013. Effect of grapefruit seed extracts and acid regulation agents on the qualities of Toppokkidduk. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42:948-956
- Kim GY, Kim JK, Kang WW, Kim JG, Joo GJ. 2005. Shelf-life extension of rice cake by the addition of persimmon leaf tea powder. *Food Sci Biotechnol* 14:196-199
- Kim JY, Yoo HL, Lee YD, Park JH. 2011. Detection of *Bacillus cereus* group from raw rice and characteristics of biofilm formation. *Korean J Food Nutr* 24:657-663
- Lee JW, Lee HH, Rhim JW. 2000. Shelf life extension of white rice cake and wet noodle by the treatment with chitosan. *Korean J Food Sci Technol* 32:828-833
- Lee MG, Yoon WB. 2014. Developing an effective method to determine the deviation of F value upon the location of a still can during convection heating using CFD and subzones. *J Food Process Eng* 37:493-505
- Li H, Prakash S, Nicholson TM, Fitzgerald MA, Gilbert RG. 2016. The importance of amylose and amylopectin fine structure for textural properties of cooked rice grains. *Food Chem* 196:702-711
- Moon KB, Kim HK, An DS, Lee DS. 2010. Effect of modified atmosphere packaging on preservation of pumpkin rice cake. *Korean J Food Preserv* 17:908-913
- Oey I, Lille M, Van Loey A, Hendrickx M. 2008. Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavour of fruit-and vegetable-based food products: A review. *Trends Food Sci Technol* 19:320-328
- Palav T, Seetharaman K. 2006. Mechanism of starch gelatinization and polymer leaching during microwave heating. *Carbohydr Polym* 65:364-370
- Park CS, Choi MA, Park GS. 2004. Effect of *Paecilomyces japonica* on the microbiological quality and shelf-life of Jeungpyun. *Korean J Food Cook Sci* 20:561-567
- Park HW, Yoon WB. 2018. Effects of air movement in a hot air dryer on the drying characteristics of colored potato (*Solanum tuberosum* L.) using computational fluid dynamics. *Int J Agric Biol Eng* 11:232-240
- Park SB, Chung HY, Koo BY. 2015. Quality changes of retort pouched curry sauce by various sterilization and storage conditions. *Food Eng Prog* 19:353-359
- Pflug IJ. 1987. Factors important in determining the heat process value, FT, for low-acid canned foods. *J Food Prot* 50:

528-533

- Shin HH, Kim YJ, Cho WI, Choi JB, Choi DW. 2003. Development of a computer program predicting sterilization effects on target microorganisms. *Korean J Food Nutr* 16:180-186
- Singh RP, Heldman DR. 2001. Introduction to Food Engineering. 5th ed. Gulf Professional Publishing. pp.424-474
- Van Asselt ED, Zwietering MH. 2006. A systematic approach to determine global thermal inactivation parameters for various food pathogens. *Int J Food Microbiol* 107:73-82
- Wang J, Park JH, Choi NJ, Ha SD, Oh DH. 2016. Microbiological analysis of rice cake processing in Korea. *J Food Prot* 79:157-162
- Xie F, Yu L, Su B, Liu P, Wang J, Liu H, Chen L. 2009. Rheological properties of starches with different amylose/amylopectin ratios. *J Cereal Sci* 49:371-377
- Yu JH, Han GH. 2004. Quality characteristics of rice cake (*Karadduk*) with different soaking and steaming time. *Korean J Food Cook Sci* 20:630-636

Received 14 August, 2018

Revised 28 August, 2018

Accepted 30 September, 2018