KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL.
Vol. 31, No. 5, pp. 1392~1396(1999)

연구노트

연속식 마이크로파 고온단시간 살균시스템에서 우유의 살균효과

김석신 · 이주희 · 김상용*
가톨릭대학교 식품영양학과, *동양제과 기술연구소

Pasteurization Efficiency of a Continuous Microwave HTST System for Milk

Suk Shin Kim, Joo Hee Lee and Sang Yong Kim*
Department of Food Science and Nutrition, The Catholic University of Korea
**R&D Center, Tong Yang Confectionery Corp.*

Abstract

This work was to apply the microwave energy to HTST pasteurization of milk in order to prevent undesirable quality changes due to the fouling and overheating on the surface of heat exchanger. A continuous tubular-type microwave pasteurization system was designed using a domestic microwave oven(800W and 2,450 MHz). Raw milk was HTST pasteurized(at 72°C for 15 sec) by three methods; by heating in a stainless steel tube immersed in a hot water bath(MP0), by heating in a microwave cavity to a desired temperature and then holding in a hot water bath(MP1) and by both heating and holding in a microwave cavity(MP2). The microbial quality based on the total plate count and psychrotrophic bacterial count was in the order of MP0, MP2 and MP1 ; however, the quality difference was not significant($p<0.05$) when the initial microbial numbers were involved in the statistical analysis. In addition, the three samples pasteurized by different methods showed the similar microbial quality based on the coliform count and phosphatase activity. The similar microbial quality of the three samples supports the potential use of microwave energy for the pasteurization of milk and other fluid food products.

Key words : milk, microwave, HTST pasteurization, microbial quality

서 론

저온살균(pasteurization)은 병원성 세균이나 식품변질을 일으키는 효모 및 곰팡이를 사멸시키기 위해 100°C 이하의 온도에서 식품을 가열처리하는 것을 말하며 우유의 경우 63°C에서 30분간 처리하는 전통적인 회분식 저온살균(batch pasteurization)에서 시작되었다[1]. 그 후 미생물 균체의 사멸이 효소나 영양소의 파괴보다 온도에 더 예민하다는 사실에 근거하여 온도를 높이고 살균시간을 단축하는 연속식 저온살균(continuous pasteurization)으로 바뀌었으며 현재는 우유를 72°C에서 15초간 처리하는 고온단시간살균(high-temperature short-time pasteurization)이 선진각국에서 가장 널리 활용되고 있다[2,3].

우유의 저온살균시 문제가 되는 것은 열교환기의 표면온도가 높아서 발생하는 fouling인데 fouling은 열교환속도를 떨어뜨리고 과열로 비타민 따위의 열에 약한 성분을 손상시킬 뿐만 아니라 fouling된 물질이 분해되면서 가열취가 나는 등 제품에 좋지 않은 영향을 일으키게 된다[3]. 현재 우유살균에 가장 많이 쓰이는 판상식 열교환기(plate heat exchanger)의 경우 열전달 촉진을 위해 주름이 많은 내부구조를 갖고 있어 그만큼 fouling 위험성이 높아지며 특히 우유의 경우 열에 민감하기 때문에 이중관형보다 오히려 fouling이 형성되기 쉽다[4].

이에 비하여 마이크로파에 의한 가열(microwave heating)은 식품에 함유된 물분자나 그 밖의 쌍극자 물질(dipoles)이 전기장의 교류에 따라 회전하면서 마이크로파 에너지를 열에너지로 전환시키는 내부가열(internal heating) 방식이므로 식품의 외부 온도를 상승시키지 않고 신속하게 가열할 수 있다. 즉, 마이크로파를 이용하여 우유를 살균할 경우 fouling 발생을 극소화시키면서 균을 사멸시킬 수 있어 향, 영양성분 등

Corresponding author : Suk-Shin Kim, Department of Food Science and Nutrition, The Catholic University of Korea, Bu-chon, Kyonggi-do 422-743, Korea

품질의 보존효과가 크리라 예상되며 별도의 연료사용 없이 전기에너지만을 이용함으로써 최근 관심이 높은 환경측면에서도 바람직하다[5-10].

마이크로파를 이용한 우유의 살균에 대한 연구는 주로 연속식 살균 연구에 치중되어 있는데 이에 대한 국외의 연구로는 우유가 유리관 내부를 중력에 의해 흐르도록 하여 이를 마이크로파로 82°C에서 살균한 경우나 가압시스템을 활용하여 200°C에서 0.1초간 초고온 살균(UHT)한 경우 등이 보고되어 있으나 활용되지 않고 있고[4,9,10], 국내의 경우 우유의 마이크로파 살균에 관한 연구는 전무하며 최근 유산균액을 pulsed microwave를 이용하여 회분식으로 살균한 연구[11]가 보고된 바 있을 뿐이다.

이에따라 본 연구에서는 연속식 마이크로파 HTST 시스템을 설계·제작한 후, 우유를 HTST(72°C, 15초)법으로 살균하되 마이크로파만을 활용한 경우와 마이크로파로 온도를 올린 후 열수에서 holding한 경우와 열수만을 이용한 세가지 경우로 구분하여 미생물의 사멸효과를 총생균수, 대장균수, 저온성세균수 및 phosphatase 활성으로 구분하여 비교하였다.

재료 및 방법

재료

원유는 부천 근교에 위치한 목장에서 분양받아 아이스박스를 이용하여 운반한 후 초기 총균수가 10^4~10^5 정도가 될 때까지 승온시켜 저장한 다음 살균실험에 사용하였다.

연속식 마이크로파 HTST 살균 시스템의 설계·제작

본 연구에서 사용한 연속식 마이크로파 HTST 살균 시스템(Microwave HTST Pasteurizing System, model MPS-1, The Catholic Univ. of Korea)은 본 연구팀이 직접 설계·제작하였다(Fig. 1 참조). 가정용 전자렌지(삼성전자, 모델 RE-700W, 2,450 MHz, 800 W)의 외벽과 내벽에 구멍을 뚫고 이를 통해 내경 4 mm(외경 6 mm)의 테프론 관(teflon tube)를 삽입해 넣었으며 테프론 관의 길이는 원하는 살균시간(holding time)에 맞추어 조정하였다. 테프론 관을 통해 마이크로파가 새는 것을 방지하기 위해 내벽과 외벽사이의 테프론 관 외부에 금속왓셔로 chalk를 설치하였으며 마이크로파 누출 여부를 마이크로파 누출검지기로 확인한 결과 안전하였다. 우유는 유속조절이 가능한 peristaltic pump (Watson-Marlow Ltd., model 302S, England)를 통해 테프론 관 내부를 순환하게 하였고 가열이 끝난 우유는 ice bath에서 급냉하였다. 마이크로파 오븐의 입구와 출구의 테프론 관과 내부의 테프론 관에 T-type의 thermocouple을 꽂아 data logger (Measurement Systems Ltd., Datascan 7000, U.K)를 경유하여 PC로 온도를 측정·기록함으로써 전자렌지 내부와 출구부위의 테프론 관 속의 우유 품온을 비교하여 차이가 거의 없음을 확인하였다. 출구에는 별도로 K-type thermocouple을 연결하고 이를 on-off controller(한영전자, DX7-KMWNR)와 연결하여 마이크로파의 조사를 조절함으로써 원하는 온도를 유지하였다. 이때 과잉의 에너지가 발생하는 것을 방지하기 위해 전자렌지 내부 중앙에 20°C의 물 800 mL와 네 구석에 각 100 mL의 물을 놓아 heat sink로 활용하였다.

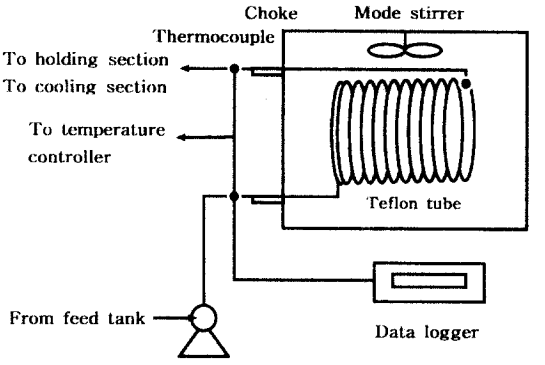

Fig. 1. Schematic presentation of a microwave HTST pasteurizing system.

우유의 살균실험 및 살균전후 시스템 처리

우유의 HTST살균실험은 72°C, 15초를 기준으로 다음의 세가지 방법으로 행하였다.

첫번째 방법은 일반적인 열수를 사용한 HTST살균법(MP0)으로서 Dhar 등[12]의 방법을 수정하여 다음과 같이 행하였다. 80°C의 수조와 72°C의 수조에 내경 2 mm의 스텐레스 관(stainless steel tube)을 담근 후 펌프로 관 내부를 통해 우유를 이송하며 80°C의 수조에서 신속하게 72°C로 가열한 후 72°C의 수조를 15초간 통과시킨 다음 얼음조에서 급냉시켰다. 이때 우유의 유속은 5 mL/min이었고 수조에 담그는 스텐레스 관의 길이는 예비실험을 통해 조절하였다.

두번째 방법은 마이크로파로 가열하고 72°C의 수조에서 15초간 유지하는 HTST살균법(MP1)으로서 마이크로파로 우유 온도를 72°C로 올린 후 72°C의 수조를 15초간 통과시키고 얼음조에서 급냉시켰다. 이 때 우유의 유속은 50 mL/min이었고 전자렌지안의 테프론 관

의 길이는 예비실험을 통해 조절하였다.

세번째 방법은 마이크로파만을 이용한 HTST살균법(MP2)으로서 마이크로파 cavity 내에서 우유의 온도를 72°C로 상승시킨 후 15초간 유지시키고 얼음조에서 급냉하였다. 이때 우유의 유속은 50 mL/min이었고 전자렌지안의 테프론 관의 길이는 예비실험을 통해 조절하였다.

살균실험 후 시스템을 세척(CIP cleaning)하기 위해 60°C의 증류수를 40분간 perilstatic pump로 순환시킨 후, 60°C의 1% NaOH용액으로 40분, 다시 60°C의 증류수로 20분, 20°C의 증류수로 20분, 60°C의 0.5% HCl용액으로 40분, 60°C의 증류수로 40분, 20°C의 멸균증류수로 20분간 순환시켰다. 사용을 잠시 멈출 경우 테프론 관의 양쪽 입구를 면전한 후 autoclave에서 멸균한 뒤 살균실험 전후로 위 세척과정을 반복하였다.

우유의 살균전후 미생물균수 측정

우유의 살균전후 미생물균수 측정실험은 총생균수(total plate count), 대장균수(coliform bacterial count), 저온성세균수(psychrotrophic bacterial count)로 구분하여 다음과 같이 행하였다.

생균수 : AOAC[13]의 방법으로 plate count agar 배지에 접종하여 32°C에서 48시간 배양한 후 집락을 계수하였다.

대장균수 : AOAC[13]의 방법으로 deoxycholate lactose agar 배지에 접종하여 32°C에서 48시간 배양한 후 집락을 계수하였다.

저온성세균수 : AOAC[13]의 방법으로 plate count agar 배지에 접종하여 7°C에서 10일간 배양한 후 집락을 계수하였다.

Phosphatase activity 측정

우유 살균의 적정성 판단을 위해 미생물 실험과 별도로 살균지표로 활용되는 phosphatase activity를 AOAC[13]의 방법으로 측정하였다. 2개의 시험관(15×100 mm)에 각각 1 mL의 시료를 넣고 3°C로 가열한 후 한 시험관에는 한방울의 기질용액(phenolphthalein monophosphate, pH 10)을 가하고 다른 시험관에는 한방울의 표준용액(phenolphthalein-tartrazine)용액을 가했다. 그 다음 각 시험관을 잘 섞고 37°C에서 30분간 배양한 다음 두 시험관에 각각 2.5 N NaOH를 한방울씩 넣어 다시 잘 섞은 후 색을 비교하여 phosphatase 양성 또는 음성으로 판정하였다.

통계처리

Duncan의 다중비교법을 이용하여 각 항목별 실험군 사이의 유의차를 검정하였다($p<0.05$).

결과 및 고찰

살균방법에 따른 총생균수의 비교

우유의 HTST 살균 결과를 통상적 열수살균법(MP0)과 마이크로파로 승온시킨 후 열수에서 holding하는 방법(MP1)과 마이크로파만을 이용한 살균법(MP2)의 3가지로 구분하여 Fig. 2에 나타내었다. 3가지 HTST 살균법 모두 살균후 초기균수의 3 log 정도 감소하는 살균효과를 보여주었다. 살균방법별 살균효과는 MP0>MP2>MP1의 순서를 보였고 통계적 유의차($p<0.05$)도 있는 것으로 나타났으나 원유의 초기 총균수와 함께 통계처리할 경우는 살균방법 간의 유의차가 없는 것으로 확인되었다. 따라서 마이크로파 단독처리(MP2) 또는 마이크로파로 승온시킨 후 원하는 온도에서 holding하는 병용법(MP1)을 활용할 경우 통상적 HTST법에서 문제가 되는 fouling을 방지하면서도 상법과 거의 대등한 살균효과를 얻을 수 있을 것으로 예측되었다.

살균방법에 따른 저온성 세균수의 비교

Fig. 3에 저온성 세균수에 대한 우유의 HTST 살균결과를 살균방법별로 나타내었다. 총생균수의 경우처럼세가지 HTST 살균법 모두 살균후 초기 저온성세균수의 3 log 정도 감소시키는 살균효과를 보여주었다. 살균방법별로 저온성 세균의 살균효과를 살펴본 결과도 총생균수의 경우처럼 MP0>MP2>MP1의 순서를 보

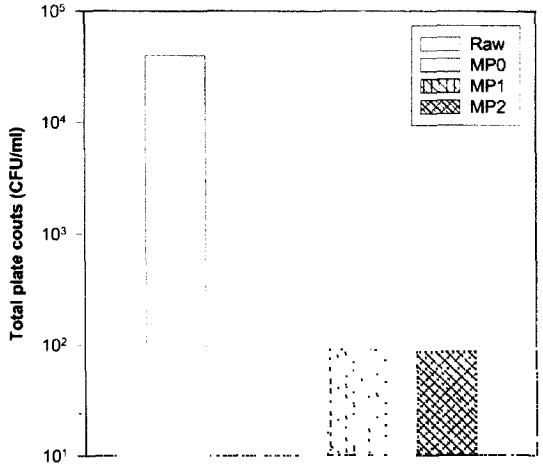

Fig. 2. Comparisons of total plate counts of milk HTST pasteurized by different methods. (Raw : raw milk, MP0 : hot water heating & holding, MP1 : microwave heating & hot water holding, MP2 : microwave heating & holding).

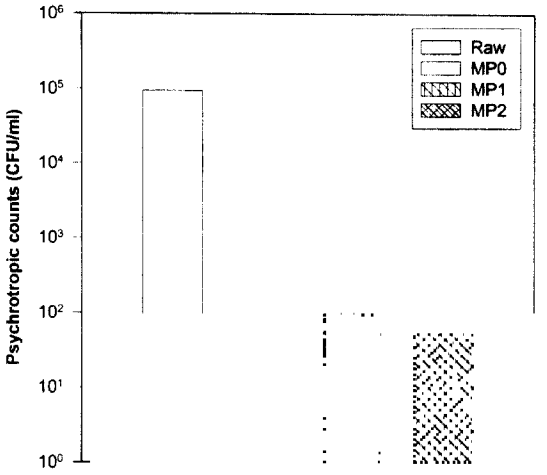

Fig. 3. Comparisons of psychrotrophic counts of milk HTST pasteurized by different methods. (Raw : raw milk, MP0 : hot water heating & holding, MP1 : microwave heating & hot water holding, MP2 : microwave heating & holding).

였고 유의차($p<0.05$)도 있었으나 원유의 초기 저온성 세균 수와 함께 통계처리할 경우는 살균방법 간의 유의차는 나타나지 않았다. 이에 따라 마이크로파 단독처리(MP2) 또는 마이크로파로 승온시킨 후 holding하는 병용법(MP1)을 활용할 경우 통상적 HTST과 대등한 저온성세균의 살균효과와 아울러 fouling 방지도 가능할 것으로 추정하였다.

살균방법에 따른 대장균수의 비교

대장균수에 대한 각 살균방법의 HTST 살균효과 측정 결과를 Table 1에 나타내었다. 대장균의 경우 3가지 HTST 살균법 모두 살균후 우유의 배양실험에서 대장균 집락이 확인되지 않았기 때문에 살균효과가 대등함을 알 수 있었다. 따라서 마이크로파 단독처리(MP2) 또는 마이크로파와 온수 holding(MP1)을 병용할 경우 통상적 HTST과 대등한 대장균의 제거효과를 얻을 수 있을 것으로 예상되었다.

Table 1. Comparisons of Coliform counts and phosphatase activity of milk HTST pasteurized by different methods

Pasteurization methods[1)]	Coliform counts (CFU/mL)	Phosphatae activity
Raw	8.5×10^3	+
MP0	0	−
MP1	0	−
MP2	0	−

[1)]Raw : Raw milk, MP0 : Hot water heating & holding, MP1 : Microwave heating & hot water holding, MP2 : Microwave heating & holding.

살균방법에 따른 phosphatase activity의 비교

Table 1에 나타낸 것처럼 적정살균여부를 판단하는 지표가 되는 phosphatase activity는 3가지 HTST 살균법 모두 살균후 음성(negative)인 것으로 나타나 세가지 살균방법 모두 적정살균이었음을 확인시켜 주었다. 따라서 마이크로파 단독처리(MP2) 또는 병용처리(MP1)할 경우 통상적 HTST법에서 야기되는 fouling 방지와 동시에 대등한 살균효과를 얻을 수 있을 것으로 추정하였다.

요 약

우유의 저온살균시 품질손상의 원인이 되는 fouling 발생을 극소화시키면서 균을 사멸시키기 위하여 마이크로파를 이용한 우유의 살균에 대한 연구를 시도하였다. 이에따라 연속식 마이크로파 HTST 시스템을 설계·제작한 후, 우유를 HTST(72°C, 15초)법으로 살균하되 열수만을 이용한 경우(MP0)와 마이크로파로 온도를 올린 후 열수에서 holding한 경우(MP1)와 마이크로파만을 활용한 경우(MP2)의 세가지로 구분하여 미생물의 사멸효과를 총생균수, 대장균수, 저온성세균수 및 phosphatase 활성으로 구분하여 비교해 보았다. 총균수와 저온성 세균수의 경우 세가지 HTST 살균법 모두 살균후 초기균수의 3 log 정도 감소하는 살균효과를 보여주었다. 살균방법별 살균효과는 MP0>MP2>MP1의 순서를 보였고 유의차($p<0.05$)도 있는 것으로 나타났으나 원유의 초기미생물수와 함께 통계처리할 경우는 살균방법 사이의 유의차는 보이지 않았다. 대장균과 phosphatase activity의 경우 세가지 HTST 살균법 모두 살균후 우유의 배양실험에서 대장균 집락이 확인되지 않거나 살균후 음성(negative)인 것으로 나타나 살균방법 사이의 살균효과에 차이가 없음을 확인시켜 주었다. 따라서 마이크로파 단독처리(MP2) 또는 마이크로파로 승온시킨 후 원하는 온도에서 holding하는 병용법(MP1)을 활용할 경우 통상적 HTST법에서 문제가 되는 fouling을 방지하면서 거의 대등한 살균효과를 얻을 수 있을 것으로 예상하였다. 얻어진 연구결과를 토대로 우유 및 타 액상식품의 살균에도 확대 적용할 수 있으리라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 한국과학재단 핵심전문연구

(KOSEF 961-0605-038-2)에 의해 수행된 연구결과의 일부이며 연구비지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Harper, W.J. and Hall, C.W. Dairy Technology and Engineering, AVI, Westport, Connecticut, USA (1976)
2. Ramaswamy, H.S., Ghazala, S. and van de Voort, F.R. Degradation kinetics of thiamin in aqueous systems at high temperatures. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 23: 125-129 (1990)
3. Kudra, T., van de Voort, F.R., Raghavan, G.S.V. and Ramaswamy, H.S. Heating characteristics of milk constituents in a microwave pasteurization system. J. Food Sci. 56: 931-934, 937 (1991)
4. Mullin, J. Microwave processing. In: New Method of Food Preservation. Gould, G.W.(ed.), Blackie Academic and Prefessional, London, UK (1995)
5. Mudgett, R.E. Microwave properties and heating chracteristics of foods. Food Technol. 40(6): 84-89 (1986)
6. IFT. Microwave food processsing. Food Technol. 43(1), 117-126(1989)
7. Giese, J. Advances in microwave food processing. Food Technol. 46(9), 118-122 (1992)
8. Decareau, R.V. Microwaves in the Food Processing Industry. Academic Press, New York, N.Y., USA(1985)
9. Rosenberg, U. and Bogl, W. Microwave pasteurization, sterilization, blanching, and pest control in the food industry. Food Technol. 41(6), 92-98, 121 (1987)
10. Mudgett, R.E. and Schwartzberg, H.G. Microwave food processing : pasteurization and sterilization-a review. AIChE Symposium Series. No. 218, 78, 1-11 (1982)
11. Shin, J.K. and Pyun, Y.R. Development of pulsed microwave pasteurization system for lactic acid bacteria. Food Sci. Ind. 27(4), 57 (1994)
12. Dhar, J., Fichtali, J., Skura, B.J., Nakai, S. and Davidson, A.G.F. Pasteurization efficiency of a HTST system for human milk. J. Food Sci. 61, 569-572, 595 (1996)
13. AOAC International: Official Methods of Analysis of AOAC Intenational. 16th ed., Aelington, Virginia, USA (1995)

(1998년 5월 6일 접수)