

액상식품의 연속살균을 위한 공정감시 및 제어장치 개발

Development of Monitoring and Control System for Continuous Flow Sterilizing of Foods in Liquid Phase

안 용 구*

정회원

Y. G. Ahn

홍 지 향*

정회원

J. H. Hong

고 학 균*

정회원

H. K. Koh

1. 서론

농산가공식품의 부적절한 살균공정은 농산물의 유통과정 중 곰팡이의 발생이나 유해 세균의 성장을 유발하여 농산가공식품을 섭취하는 소비자의 위생과 건강을 위협하게 된다. 현재 식품가공산업에서 행해지고 있는 식품살균방법에는 여러 가지가 있으나 우유와 같은 액체상태의 경우에는 배치식(batch processing)살균이 널리 쓰이고 있다. 배치식 살균은 대상 식품이 담긴 원료통을 살균온도까지 도달시키기 위하여 가열하는 방식이다. 이것은 소규모 단위의 살균 설비나 다품종 소량생산을 목적으로 할 때 적합하지만 살균시간이 길고, 가열이 불균일하여 가열온도가 제한된다. 이러한 배치식 살균공정의 단점을 극복하기 위하여 현재 외국에서는 연속살균장치에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 연속살균장치란 원료를 저장된 탱크로부터 펌프를 이용하여 관으로 연속해서 흘러보내면서 짧은 시간에 고온으로 살균하는 HTST(high temperature short time)공정을 수행하는 장치를 말한다.

연속살균장치는 영양손실이 크지 않아 품질유지에 효과가 크다. 또한 배치식 공정과 같은 정체성이 없어 생산성이 높고 에너지 소비가 낮으며 상온으로 냉각된 제품을 포장하므로 가격이 저렴한 테트라팩(Tetra pack), 펫트(Pet)병등을 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 연속살균장치에 관한 연구논문이 우리나라에서는 아직까지 발표되지 않고 있는 실정이다. 본 논문에서는 본 실험실에서 제작한 연속살균장치를 이용하여 실험을 실시하였으며 보다 효율적이고 경제적인 공정감시 및 제어장치를 개발하였으며 연속살균공정에 최적화된 제어알고리즘을 개발하고 사용자가 손쉽게 장치 내부 상태를 감시할 수 있도록 인터페이스를 구축하였다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

따라서 본 논문은 연속살균장치의 살균공정시 작동상태를 측정할 수 있는 모니터링 장치를 구성하고 연속살균공정의 온도, 압력, 유속을 제어하는 알고리즘과 장치를 개발을 목적으로 하였다.

2. 재료 및 방법

2-1. 연속살균기의 구성도와 공정흐름

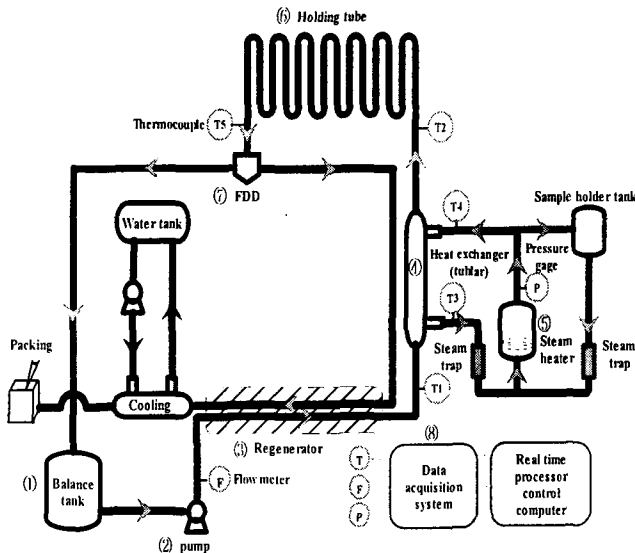


Fig. 1 Schematic diagram of HTST pasteurization process and control system

열교환기를 통과한 원료는 단열된 홀딩튜브를 거치며 필요한 살균시간을 확보하게 된다. 살균시간은 홀딩튜브의 길이와 유량의 함수로 결정된다. 마지막으로 유량분할기(flow diversion device, FDD)는 홀딩튜브의 끝에 위치하고 있으며, 홀딩튜브로부터 나온 원료의 온도가 목표치 온도보다 낮거나 미살균되었다고 판단되면 다시 살균공정에 투입되기 위하여 원료탱크로 되돌아간다. 반대로 홀딩튜브로부터 나온 원료의 온도가 적합한 온도구배를 유지하고 있으면 살균이 이루어진 것으로 판단하고 저장탱크나 포장공정부로 보내어진다.

본 실험에서 사용된 HTST 살균시스템은 그림 1에서 보는 것과 같이 원료탱크, 폐열회수기, 펌프, 가열기, 열교환기, 홀딩 튜브, 유량분할기(FDD)로 구성되어 있다. 먼저 원료탱크에 담긴 원료는 펌프에 의해서 폐열회수기로 전달된다. 이때 폐열회수기는 두 개의 관으로 되어 있는데 한쪽은 살균되지 않은 원료가 흐르는 파이프이고 다른 하나는 고온으로 살균된 원료가 흘러가는 파이프로 구성되어 있다. 열교환기로 향하는 액상원료는 포장공정으로 향하는 원료로부터 고온의 열을 흡수하면서 예열과정을 거치게 된다.

2-2. 제어 알고리즘

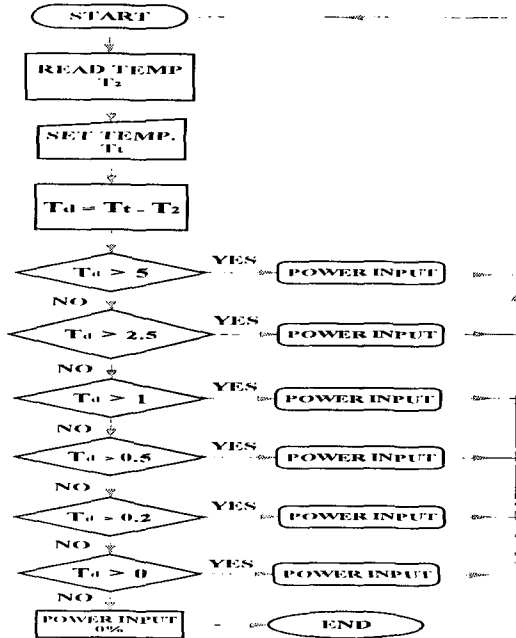


Fig. 2 Flowchart controlling the heaters

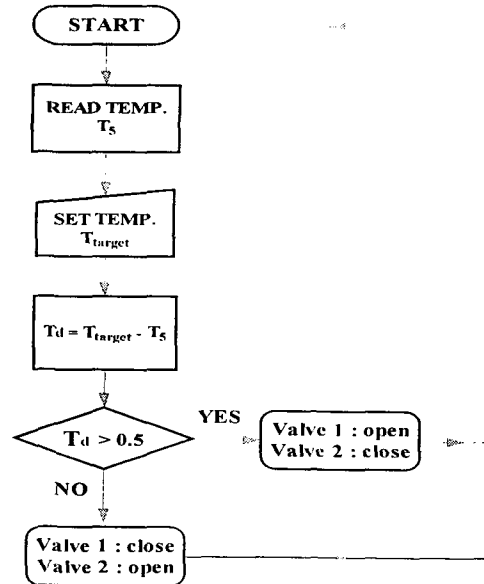


Fig. 3 Flowchart controlling the solenoid valve

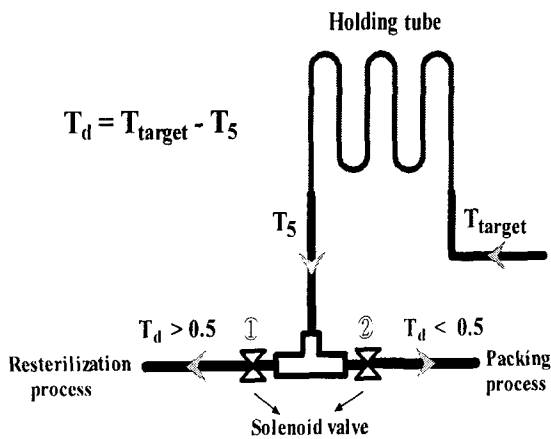


Fig. 4 Control of solenoid valve

리즘이다. 그림 4에서 단열된 표온도를 T_{target} , 홀딩튜브 출구에서의 온도를 T_5 , 목표온도와 출구온도의 차이값을 T_d 라 정의하였다. T_d 가 0.5보다 크면 그림 4에 있는 ①번 밸브가 열리고 ②번 밸브는 닫히게 된다. 따라서 대상원료는 재살균공정으로 순환하게 되고, T_d 가 0.5보다 작으면 밸브는 반대로 개폐되므로 포장공정으로 향하게 되는 것이다.

그림 2는 열교환기를 통과한 원료의 온도를 목표온도로 일정하게 유지시키는 제어 알고리즘이다. 먼저 제어프로그램을 실행시키면 열교환기를 통과한 원료의 온도값(T_2)을 읽어들이고, 목표치 살균온도 T_1 와의 차이값(T_d)을 계산한다. T_d 를 5, 2.5, 1, 0.5, 0.2, 0의 값과 비교하여 PWM(Pulse width modulation)제어인 duty cycle이 실행되고 각각의 차이에 맞게 5초를 기준으로 히터의 전원입력 시간을 배분한다. 그림 3은 유량 분할기의 솔레노이드밸브를 제어하는 알고

3. 결과 및 고찰

3-1. 공정감시 프로그램

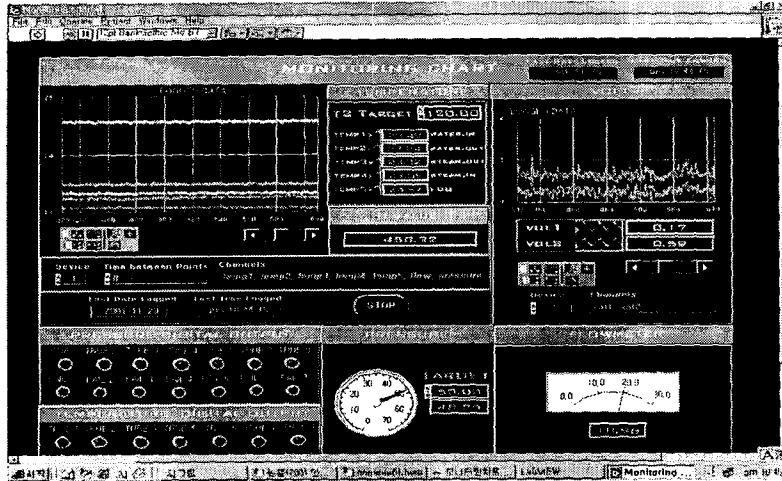


Fig. 5 Monitoring chart

그림 5는 장치 내부의 온도와 유량을 계측하고 제어하는 프로그램이며 각 각의 temp1, temp2, temp3, temp4, temp5, flow, pressure 채널을 통하여 데이터를 수집하였다.

좌측 상단은 다섯 개의 서머커플이 읽어들이는 온도 분포를 실시간으로 보여주고 있으며 열 교환기를 통과한 원료가 목표온도까지 도달하여 유지되도록 하였다.

3-2. 각 유량에 따른 원료 및 스팀의 온도와 경과시간

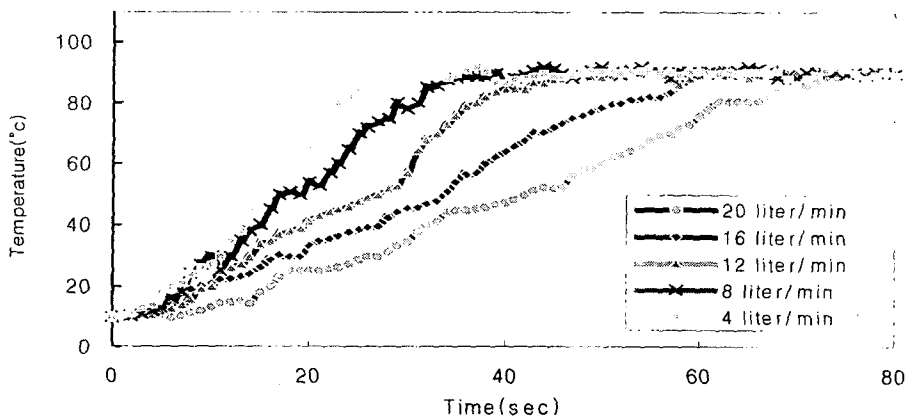


Fig. 6 Temperature rise as a function of time for water in each flow rates

그림 6은 유량을 5가지 경우로 분류하였을 때 원료의 초기온도가 10°C일 때부터 가열하여 90°C까지의 온도변화를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 유량이 날수록 시간은 32, 39, 52, 66, 77초 부근부터 안정화됨을 알 수 있고 도달시간 또한 증가되었음을 알 수 있었다.

3-3. 유량변속에 따른 원료의 온도제어

표 1은 원료의 초기온도가 20℃일 때 위와 같은 내용을 실험한 결과이다. 유량이 전체적으로 증가할수록 스팀의 온도와 경과시간이 증가하는 경향을 보이고 있다.

Table 1. Temperature rise at controlled flow rates

Flow rates (ℓ /min)	Initial water temp.($^{\circ}\text{C}$)	Inlet steam temp.($^{\circ}\text{C}$)	Elapsed time(sec)
from 4 to 8	20	116	33
from 8 to 12		123	43
from 12 to 16		130	54
from 16 to 20		134	68

3-4. 과살균 방지를 위한 스팀의 온도제어

표 2는 살균목표온도(90℃) 부근에서 스팀의 온도를 낮춰줌으로써 과살균을 방지하고 있다.

Table 2. Control of steam temperature by water temperature

Flow rates(ℓ /min)	Current		Controlled	
	Water temp.($^{\circ}\text{C}$)	Steam temp.($^{\circ}\text{C}$)	Water temp.($^{\circ}\text{C}$)	Steam temp.($^{\circ}\text{C}$)
12	91	105	87	100
	92	108	88	104
	94	112	90	108

4. 요약 및 결론

- 1) HTST공정에 적합한 공정감시 및 제어알고리즘을 개발하였고, 일련의 모든 프로그램은 G언어의 일종인 Labview 5.1을 사용하였다. 프로그램상에는 온도, 압력, 유량을 표시하는 아날로그 및 디지털 창을 마련하여 장치내부의 상태를 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.
- 2) 살균온도를 90℃로 설정하였을 때 온도제어 오차는 0.05℃였으며 이것은 Negiz와 Cinar(1995)의 온도제어 오차 0.22℃보다 정밀한 제어가 이루어 짐을 알 수 있었다.
- 3) 운전중 원료의 과살균을 방지하지 하기 위해 각 각의 경우에 스팀온도를 제어하였고 목표온도까지 가열하기 위한 각 유량과 초기온도별 스팀온도를 구하였다.
- 4) 본 연구의 이 후 과제로는 유량의 변화에 따른 홀딩튜브의 길이와 살균시간의 상관관계를 규명하여 실제 HTST공정에 적용될 수 있는 수학적 모델링을 구현해야 할 것으로 생각된다.

5. 참고문헌

1. 김용욱, 2001. 과도탐침법을 이용한 열전도계수 측정장치 개발, 서울대 석사 논문
2. 백승규, 2001. 열탐침을 이용한 액상 농산물의 열전도계수 측정, 서울대 석사논문
3. 정동효, 1997. 식품살균론, 대광서림
4. Armenante Pero M. and Yuan Shen Li. 1993. Complete design analysis of a continuous sterilizer for fermentation media containing suspended solids. *Biotechnology and Bioengineering*. Vol. 41. pp.900-913
5. Benjamin C. Kuo. 1996. *AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS*. Prentice Hall
6. George E. Clifford. 1993. *MODERN HEATING & VENTILATING SYSTEMS DESIGN*. Prentice Hall
7. Grantham, W. J. and T. L. Vincent. 1993. *MODERN CONTROL SYSTEMS ANALYSIS AND DESIGN*. Prentice Hall
8. Hofer J. M. and J. Tan. 1993. Extruder temperature control with disturbance prediction. *Food Control*. Vol. 4. pp. 17-24
9. Ibarrola J. J and J. C. Guillen. 1998. Modelling of a high temperature short time pasteurization process. *Food Control*. Vol. 9. No. 5. pp. 267-277
10. Jung A. and P. J. Fryer. 1999. Optimising the quality of safe food-computational modelling of a continuous sterilization process. *Chemical Engineering Science*. Vol. 54. pp. 717-730
11. Lee Jun E. and Rakesh K. Singh. 1991. Scraped surface heat exchanger orientation influence on particle residence time distributions. *Journal of Food Science*. Vol. 56. No. 5. pp. 1446-1447