

<응용논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2015.39.8.813>

ISSN 1226-4873(Print)
2288-5226(Online)

연속 살균기의 온도제어 및 최적설계에 관한 연구

박 철 재**

* 대구대학교 기계자동차공학부

Study on Temperature Control and Optimal Design for Continuous Sterilizer

Cheol Jae Park**

* School of Mechanical and Automotive Engineering, Daegu Univ.

(Received February 28, 2015 ; Revised April 20, 2015 ; Accepted May 11, 2015)

Key Words: Continuous Sterilizer(연속살균기), Temperature Control(온도제어), Parameter Optimization(파라미터 최적화), Response Surface Methodology(반응표면분석법)

초록: 본 논문에서는 배치식 살균기의 문제점을 분석하여 연속 살균기를 모델링하고 설계하였으며 온도 편차를 제어하였다. 살균기의 노즐 직경, 홀 직경, 노즐 길이 등의 설계 파라미터를 이용하여 온도를 해석하였다. 살균기의 온도편차에 중요한 노즐 직경, 제트박스의 직경, 노즐의 홀 피치 등의 설계 파라미터를 반응표면분석법에 의하여 최적화하였다. 그리고 본 연구에서 제안한 설계 파라미터를 이용하여 살균기의 실험장치를 개발하여 온라인으로 테스트를 실시하였다. 온라인 테스트 결과 목표온도까지 상승하는데 약 7.3 min 소요되었고 온도편차는 약 0.84℃로 양호하였으며 해석적으로 최적화를 실시한 결과와 동일한 최적조건을 도출하였다.

Abstract: In this paper, we analyzed the problems of a batch-type sterilizer and design a continuous sterilizer to control the temperature deviation. The temperature deviation is analyzed with respect to design parameters such as a nozzle diameter, hole diameter, and nozzle length. The significant temperature parameters are optimized using the response surface methodology. An experimental apparatus is developed using the optimized design parameters. Using a field test, we show that the target temperature is obtained in about 7.3 minutes and the temperature deviation is improved about 0.84℃. The optimized parameters from the test are equal to the analytical parameters.

1. 서론

일본 통조림협회의 레토르트 식품위원회에서 레토르트 식품에 대한 정의는 고압 살균기에 의하여 120℃ 이상의 가열을 받아 상업적으로 무해한 밀폐용기 식품 중, 플라스틱 필름 및 알루미늄 호일을 적층한 필름으로 밀봉한 용기를 사용하여 식품을 제조한 것이다.⁽¹⁾ 일반적으로 레토르트 식품을 넣는 파우치(pouch)의 외부는 폴리에스테르의 얇은 막으로 되어 있고, 중층은 알루미늄

박(箔)이고 내부는 또 다시 폴리에스테르 막으로 되어 있는데, 이 셋을 붙여서 파우치를 만든다. 이 파우치에 재료를 다듬고 썰고 조미하여 익힌 것을 연속 충전기에 넣고 가열하여 봉한다. 이것을 가압살균, 가압냉각 장치로 120℃ 이상의 온도에서 가열 살균하여 즉시 냉각시킨다.

기존 살균기의 문제점들은 다음과 같다. 첫째, 수증기를 기열매체로 이용하는 살균장치는 고압의 증기에 소량의 공기를 혼입하여 사용하는 공기-증기 혼합계이다. 그러나 공기가 지나치게 많으면 포장된 식품에 내용품의 열전달이 나쁘게 되어 살균효과가 저하된다. 또한 지나치게 적으

† Corresponding Author, cjpark@daegu.ac.kr

© 2015 The Korean Society of Mechanical Engineers

면 낮은 압력 변동으로 파단이 발생하게 된다. 둘째, 기존의 배치식 살균기는 제품의 이송을 배치(batch) 방식을 사용하며, 고온(120℃ 이상), 고압(1~3 kg/cm²)을 이용하여 살균기 내의 제품을 살균하는 방식이다. 이는 탱크의 용적을 크게 만들어 장치의 과대화의 원인이 될 뿐 아니라, 초기 투자 비용이 크고 생산성이 떨어진다는 단점이 있다. 셋째, 살균기의 능력은 살균기 내부의 온도가 얼마나 일정하게 제어되는가에 결정된다. 미국의 NFPA(national food processor's association)와 IFTPS(institute for thermal processing specialists)는 살균기 내의 온도편차가 1.7℃ 이하를 권장한다. 그러나 기존의 살균기는 대부분 2℃가 넘는 온도편차를 나타내어 제품의 살균정도가 떨어져 식품의 안정성까지 위협한다는 문제가 있다. 따라서 살균기 내부의 온도편차를 일정하게 제어하는 연구가 필요하다.

최근에 레토르트 살균기의 온도예측과 관련된 모델 개발과 온도편차를 제어하는 연구가 많이 진행되고 있다.⁽²⁻¹⁰⁾ 살균기의 내부 온도를 가변시켜 가변 온도제어를 실시하는 연구가 있으며, 살균공정 시간을 최적화하기 위하여 신경회로망 알고리즘을 적용하는 연구가 진행되고 있다.⁽⁴⁻⁶⁾ 레토르트 제품을 살균하는 동안 발생하는 온도편차를 온라인으로 보정하고 온도 강하량에 비례하는 최적화된 온도제어 방법을 연구한다.⁽⁷⁾ 또한 가열 살균기에서 발생하는 외란에 의하여 프로세스 편차가 발생하는 경우 온라인 보정을 위하여 수학적 모델을 활용하며 온도를 제어하는 시스템을 개발한다.^(8,9) 살균기 내부의 제품 품질을 최대한 오랫동안 유지하기 위하여 랜덤 적응 검색기법에 기초한 전역 최적화 알고리즘 등을 개발하여 최적의 레토르트 가변 온도 프로파일을 찾는 연구도 진행되고 있다.^(10,11)

본 논문에서 수행한 연구내용은 크게 다음과 같이 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 기존의 배치식 살균기의 생산성을 해결하기 위하여 연속 살균기를 모델링하고 온도해석을 실시하였다. 둘째, 온도해석 결과를 바탕으로 살균기 내부에서 온도편차에 영향을 미치는 중요한 변수를 선정하고 반응표면분석법(RSM: response surface methodology)에 의하여 최적화하였다. 셋째, 연속식 살균기의 실험장치를 설계하고 제작하였으며 온도제어의 정도를 온라인으로 테스트 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 연속 살균기를 모델링하고 설계하였고 설계 파라미터를 바탕으로 온도를 해석하였다. 3장에서는 살균기의 온도 편차를 제어하기 위하여 설계 파라미터를 최적화하였다. 4장에서는 살균기의 실험 장치에 대해서 설명하고 설계 파라미터에 따른 온도 편차의 실험결과에 대해서 분석한다. 이 논문의 결론은 5장에서 요약한다.

2. 연속 살균기의 모델링 및 온도해석

2.1 연속 살균기의 모델링

본 연구에서는 기존의 배치식 살균기의 문제점을 해결하기 위하여 레토르트 파우치를 롤러와 체인을 이용하여 연속적으로 이송시켜서 생산량을 증가시키는 연속 살균기를 개발한다.

Fig. 1은 연속 살균기를 해석하기 위한 모델링을 나타낸다. 살균기는 입구(inlet), 출구(outlet), 벽면(wall), 롤러와 체인을 가진 간이화된 구조로 설계하였다. 살균기의 하부에는 스팀을 공급하는 노즐이 있고 각 노즐에는 홀(hole)이 있다.

살균기 내부의 거시적인 유동을 해석하기 위하여 유한 체적법에 근거한 범용 프로그램을 사용하여 온도해석을 수행하였다. 살균기 내부를 흐르는 유체의 유동은 다음과 같은 보존방정식에 의하여 지배된다.⁽¹²⁻¹⁴⁾

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\rho u \phi - \Gamma_{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho v \phi - \Gamma_{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho w \phi - \Gamma_{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) = S_{\phi} \quad (1)$$

질량보존의 법칙 및 운동량 보존 방정식에 의하여 확산계수 Γ_{ϕ} 와 소스항 S_{ϕ} 에 대한 정의는

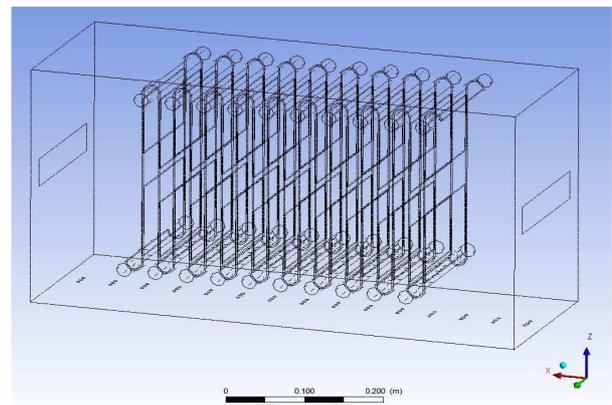


Fig. 1 Analysis modeling of continuous sterilizer

Table 1과 같다. 여기서 S_ϕ 및 P 는 각각 x, y, z 방향의 속도와 압력을 나타내며, μ 는 점성계수, ρ 는 밀도를 나타낸다.

Fig. 2는 연속 살균기의 모델링을 이용한 설계도를 나타낸다. 그림에서 보는 것과 같이 레토르트를 연속으로 이송하기 위한 롤러와 체인 등을 설치하였으며, 살균기의 내부 온도를 측정하기 위하여 온도계(thermocouple) 3개를 설치하였다. 또한 하부에는 스팀을 분사하기 위한 노즐(S1, S2, S3)을 설치하였고 상부에는 냉각수를 공급하는 밸브를 설치하였다. 본 연구에서 개발된 연속 살균기는 공급된 스팀과 사용된 스팀을 합하는 제트박스(jet box)를 도면에서 보는 것과 같이 설치하였다. 살균기에서 회수된 스팀을 공급되는 스팀과 같이 투입하여 전체적인 스팀의 투입량을 일정부분 제트박스가 담당함으로써 열손실에 대한 부분을 상당히 줄이는 효과를 얻을 수 있다.

2.2 연속 살균기의 온도해석

본 절에서는 살균기의 설계 파라미터들을 이용하여 온도해석을 실시한다. 살균기의 주요 파라미터는 노즐의 직경, 홀(hole)의 직경, 노즐 길이 등이다.

본 연구에서 온도해석의 목적은 다음과 같다. 첫째, 살균기 내부에 롤러와 체인 등을 설치하여 유동속도와 압력 등을 분석한다. 둘째, 살균기 내부의 온도가 상온에서 95℃까지 상승하는데 롤러와 체인 등이 미치는 영향 등을 분석한다.

연속 살균기 내부의 롤러와 체인 등 이송장치들의 영향을 해석하기 위하여 Table 2와 같은 컴퓨터 해석 조건을 설정한다.

실험에 의하여 살균기 내부의 온도가 상온에서 95℃까지 상승하여 수렴하는데 걸리는 최적의 시간이 11.8 sec 이므로 온도 수렴이전의 2.72 sec, 5 sec, 7 sec, 8.3 sec에서 각각 온도, 유동 속도 및 압력 등을 분석하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 대표적으로 2.72 sec, 8.3 sec에서의 해석결과를 나타내었다.

Fig. 3의 (a)는 2.72 sec에서 온도분포를 나타낸다. 2.72 sec에서 살균기 내부의 온도는 25℃에서 시작하여 약 65~73℃ 까지 온도가 상승한 것을 볼 수 있다. 롤과 체인이 설치되어 있는 부분에서의 온도는 열전달이 느린 특성으로 인하여 온도 상승이 느린 것을 알 수 있으며, 스팀이 분사

Table 1 Definition of diffusion coefficient Γ_ϕ and source term S_ϕ for variables ϕ

ϕ	Γ_ϕ	S_ϕ
1	0	0
u	μ	$-\frac{\partial P}{\partial x}$
v	μ	$-\frac{\partial P}{\partial y}$
w	μ	$-\frac{\partial P}{\partial z}$

Table 2 Analysis conditions of continuous sterilizer

Parameter	Unit	Specification
Dimension	mm	650×240×340
Hole dia.	mm	5
Nozzle length	mm	600
Number of hole	ea	2 line with 45 holes
Pressure	kg/cm ²	3.5
Flow velocity	m/s	20

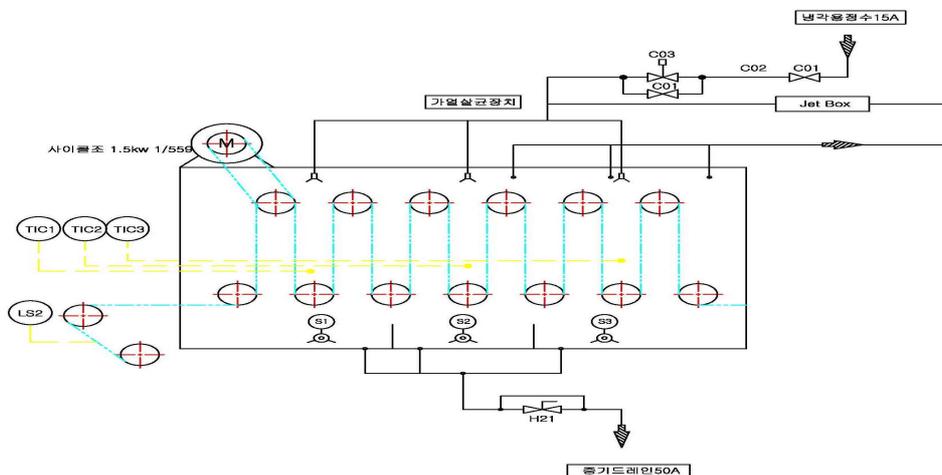


Fig. 2 Design with modeling of continuous sterilizer

되는 하부에서는 약 95℃까지 상승하기 시작한다.

Fig. 3의 (b)는 2.72 sec에서 유동속도의 분포를 나타내었다. 그림에서 유동속도는 스팀 분사구에서 설정 속도인 20 m/s로 분사되지만, 물과의 간섭으로 인하여 속도가 약 6 m/s까지 떨어지는 것을 볼 수 있다. 하지만, 살균기의 입구와 출구를 제외하고 스팀의 대부분은 살균기 내부에 균일하게 분포하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 체인의 특성으로 인하여 스팀이 파우치 제품에 골고루 분사될 수 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3의 (c)는 2.72 sec에서 압력의 분포를 나타내었다. 물과 살균기 사이의 공간에서는 설정된 압력인 3.5 kg/cm² 정도의 분포를 보이고 있으나, 살균기의 중앙부나 입구, 출구에서는 그 보다 낮은 압력인 2.4 kg/cm² 정도를 나타내었다. 하지만 스팀으로 인한 압력의 변화는 그다지 크지 않다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4의 (a)는 8.3 sec에서의 온도분포를 나타내었다. 그림에서 물과 체인 부분을 제외하고는 대부분이 설정 온도인 95℃까지 온도의 변화가 있었다.

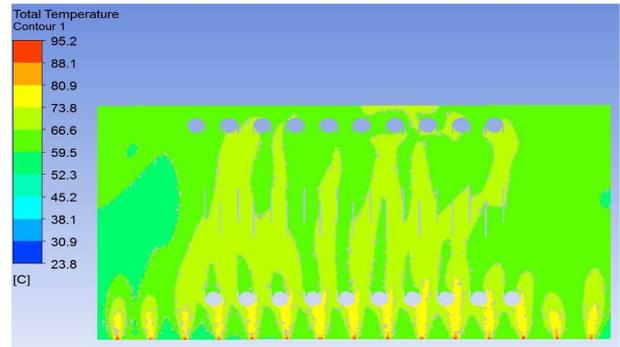
Fig. 4(b)의 유동 속도의 경우는 시간에 따라 크게 변동이 없었으나, 7 sec 이후에는 약 10 m/s 정도로 상승하는 것을 볼 수 있다. 그러나 살균기 내부의 거의 모든 지점에서 속도는 크게 변하지 않으므로 온도 분포가 유동 속도에 크게 영향을 미치지 못한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4(c)의 압력의 경우 시뮬레이션 초기의 2.4 kg/cm²에서 약 2.7 kg/cm² 정도로 상승하고 있고 스팀 분사구와 물 사이에서 압력이 높아지는 구간이 존재한다. 하지만 압력 상승의 정도는 그렇게 크지 않으므로 스팀의 압력 상승에 의한 문제는 거의 없을 것으로 판단된다.

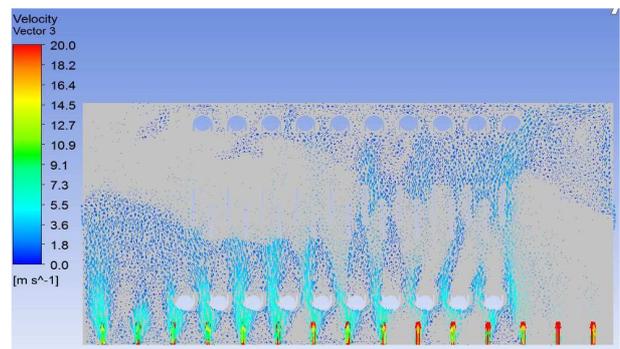
이상과 같은 온도해석 결과 Table 2와 같은 연속 살균기의 사양은 살균기 내부의 온도를 약 8.3 sec 이내에 균일하게 유지할 수 있으며, 유동이나 압력의 변화도 크지 않게 설계할 수 있음을 알 수 있다.

3. 살균기 파라미터의 최적화

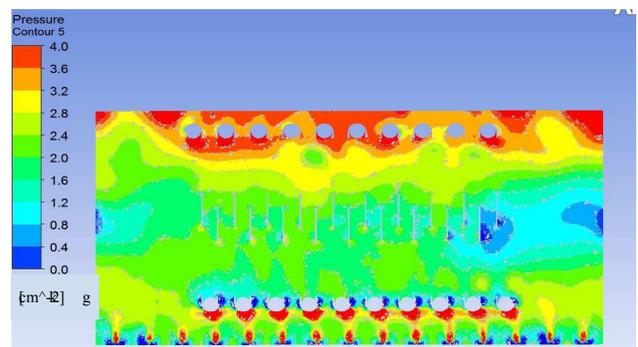
본 장에서는 살균기 내부의 온도편차를 균일하게 제어하기 위하여 반응표면분석법을 이용하여 살균기의 설계 파라미터들을 최적화하였다.



(a) Analysis of temperature distribution at 2.72sec



(b) Analysis of flow velocity distribution at 2.72sec



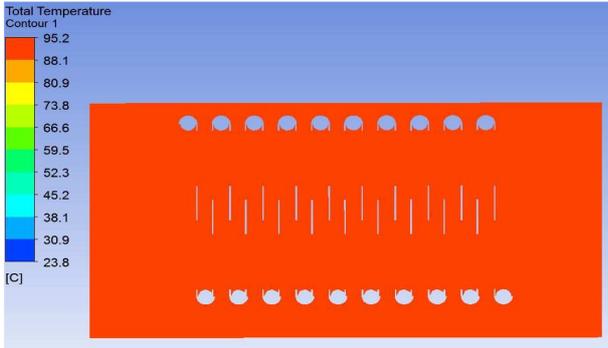
(c) Analysis of pressure distribution at 2.72 sec

Fig. 3 Analysis results of temperature, flow velocity, pressure distribution at 2.72 sec

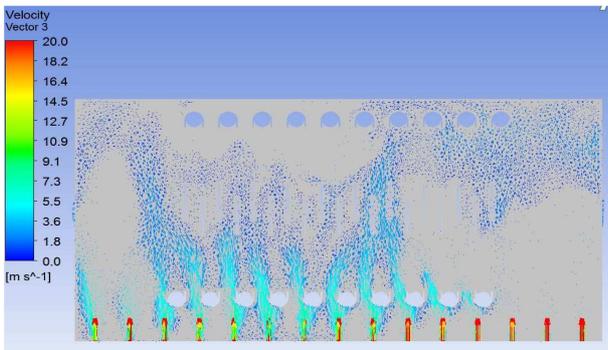
살균기 내부의 온도편차에 영향을 미치는 파라미터는 저자의 이전 연구에 의하여 노즐직경, 제트박스의 직경, 노즐의 홀 피치 등으로 선정하였다.⁽¹⁵⁾ Table 3은 온도편차와 영향을 미치는 살균기의 파라미터와 수준(level)을 나타내었다.

살균기 내부의 온도편차는 체인으로 이송되는 파우치 내부에 온도계를 장착하여 파우치 내부의 온도편차를 측정하는 방법을 사용하였다. 편의상 살균기를 4개의 영역(zone)으로 구분하였다.

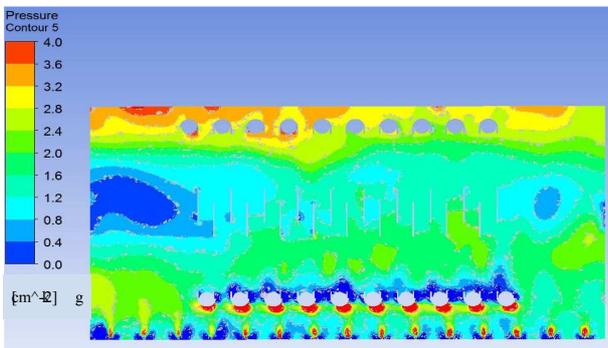
Table 4는 미니탭(minitab) 프로그램을 이용하여 실험계획법으로 온도편차에 대한 테스트 결과를 나타내었다.



(a) Analysis of temperature distribution at 8.3 sec



(b) Analysis of flow velocity distribution at 8.3 sec



(c) Analysis of pressure distribution at 8.3 sec

Fig. 4 Analysis results of temperature, flow velocity, pressure distribution at 8.3 sec

파우치 내부의 온도편차와 노즐직경(A), 제트박스 의 직경(B), 노즐의 홀 피치(C)와의 2차식 설계(full quadratic model) 모델식을 추정한 결과는 Table 5와 같다. Table 5에서 온도편차에 대한 회귀모델의 결정 계수인 R²의 값이 68.3%(상관계수=0.83)로써 외란이 존재하는 현장의 특성을 고려할 때 파우치 내부의 온도편차와 선정된 파라미터들은 밀접한 관계를 가진다는 것을 알 수 있다.⁽¹⁶⁾ 또한 신뢰수준 95%로 파라미터들과 온도편차와의 분산분석(ANOVA) 결과 A, B, C의 p값(p value)은 각각 0.634, 0.488, 0.054이며 임계값($\alpha=0.05$) 보다 크기 때문에 통계적으로 설계 파라미터가 유의하다는 것을 알 수 있다.

Table 3 Parameters and levels of the sterilizer

Parameters	Parameter levels		
	-1	0	1
Nozzle dia.(mm)	50	65	80
Jet box dia.(mm)	30	35	40
Hole pitch of nozzle(mm)	75	100	125

Table 4 Test results for temperature deviation of retort pouch

Run order	Nozzle dia.	Jet box dia.	Hole pitch of nozzle	Temperature deviation(°C)
1	0	1	1	1.9
2	0	0	0	1.9
3	-1	1	0	2
4	-1	0	-1	0.9
5	1	-1	0	2.3
6	-1	-1	0	2.1
7	1	1	0	1.1
8	0	-1	-1	1.3
9	1	0	1	1.4
10	0	0	0	1.9
11	0	0	0	1.9
12	0	-1	1	1.5
13	0	1	-1	1.8
14	-1	0	1	1.2
15	1	0	-1	1.2

Table 5 2nd regression model between temperature deviation and other parameters

Term	Coef.	SE coef.	T	P
Constant	1.9	0.2295	8.279	0
A	-0.025	0.1405	-0.178	0.866
B	-0.05	0.1405	-0.356	0.737
C	0.1	0.1405	0.712	0.509
A×A	-0.2375	0.2069	-1.148	0.303
B×B	0.2125	0.2069	1.027	0.351
C×C	-0.4875	0.2069	-2.357	0.065
A×B	-0.275	0.1987	-1.384	0.225
A×C	-0.025	0.1987	-0.126	0.905
B×C	-0.025	0.1987	-0.126	0.905

Fig. 5와 Fig. 6은 Table 5와 같은 회귀모델의 정확성을 분석하기 위하여 2차식 모델의 잔차(residual)를 분석한 결과이다. Fig. 5는 잔차의 정규성을 분석

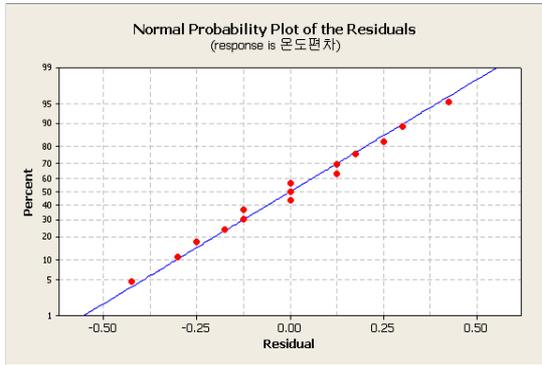


Fig. 5 Normality test for residual of regression model

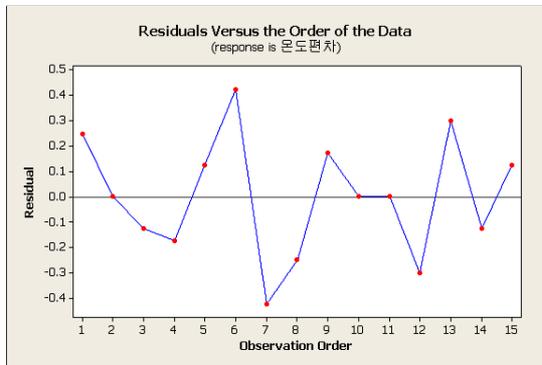


Fig. 6 Residual of regression model for each test

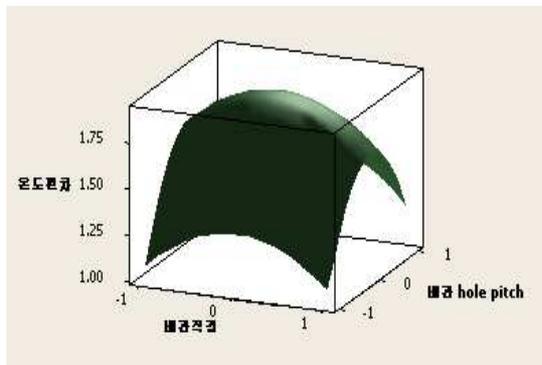


Fig. 7 Surface plot of temperature deviation

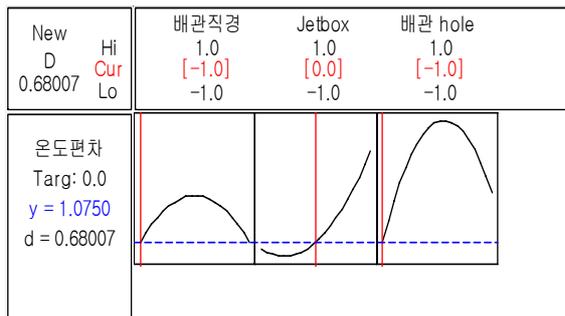


Fig. 8 Response optimization for temperature deviation

하였으며, 모델의 잔차는 정규확률 분포에서 직선관계를 나타내고 있다. Fig. 6은 테스트 순서에 대한 잔차의 변화를 나타내었으며 잔차가 -0.5~0.5 사이에 균일하게 퍼져있다는 것을 알 수 있다. 따라서 Fig. 5, 6의 잔차분석에서 Table 5와 같이 추정된 모델식이 적합하다고 판단할 수 있다.

Table 5와 같이 온도편차의 회귀모델식을 바탕으로 제트박스 직경의 수준을 0(35 mm)으로 선택한 경우, 온도편차와 노즐의 직경, 노즐의 홀 피치 간의 관계를 분석하기 위하여 반응표면의 3차원 그래프(surface plot)을 이용하여 Fig. 7과 같이 나타내었다. 그림에서 온도 편차가 최소가 되는 영역은 노즐직경이 -1(50 mm)과 노즐의 홀 피치가 -1(75 mm)인 경우이다.

Fig. 8은 반응표면분석법에 의한 반응최적화 결과를 나타내었다. 본 연구에서는 반응최적화를 위하여 온도편차의 목표 값을 0°C로 하는 최적화 알고리즘을 사용하였다. 분석 결과 그림에서 보는 것과 같이 노즐의 직경이 -1(50 mm), 제트박스의 직경이 0(35 mm), 노즐의 홀 피치가 -1(75 mm)인 경우에 온도편차가 1.075°C로 최적화 된다는 것을 알 수 있다. 또한 목표 값에 어느 정도 접근했는가를 나타내는 값(desirability)도 약 68% 정도로써 양호한 값을 얻을 수 있었다.

4. 온라인 테스트

본 연구에서는 살균기의 온도해석 및 파라미터의 최적화를 통하여 살균기의 실험장치를 개발하였다. Fig. 9는 본 연구에서 개발한 실험장치이다. 장치의 사이즈는 컴퓨터 해석조건의 약 10배에 해당하는 7,080×2,300×3,837 mm, 재질은 STS 304, 최대 98°C까지 가열 가능하며, 무게는 960 kg이다.



Fig. 9 Experimental apparatus of sterilizer for this research

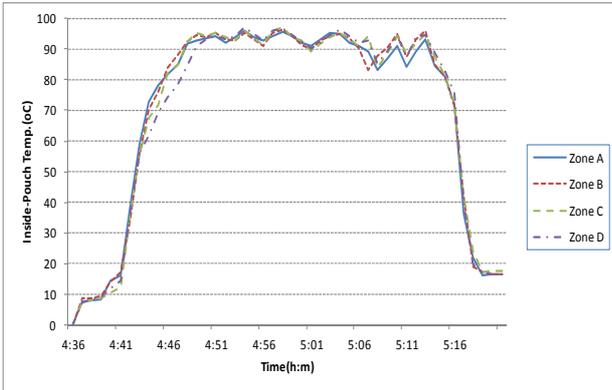


Fig. 10 Test result of temperature deviation (condition 1)

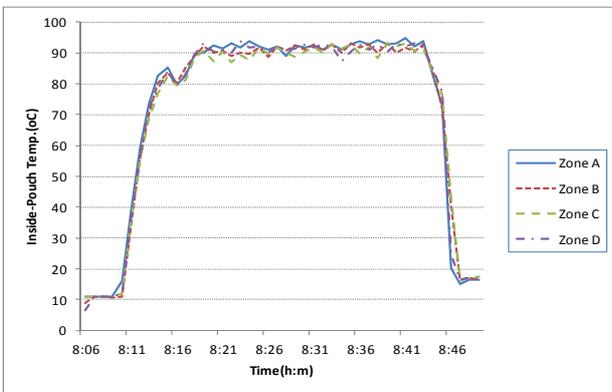


Fig. 11 Test result of temperature deviation (condition 2)

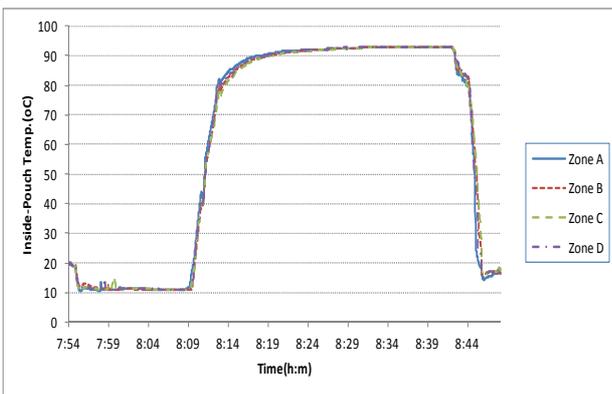


Fig. 12 Test result of temperature deviation (condition 3)

실험장치를 이용하여 살균기 내부의 온도편차를 테스트하였다. Fig. 10~12는 200 g의 파우치에 물을 충전해서 온도센서를 삽입한 실험결과이다. 살균기 내부를 길이 방향으로 4개의 영역(Zone A~D)으로 나누었고 각 영역에 해당되는 온도를 시간에 대해서 나타내었으며 목표 온도는 95°C이다.

Fig. 10은 Table 3에서 설명한 것과 같이 온도

Table 6 Temperature deviation of each zone of sterilizer

Test cond.	Temperature deviation (°C)				
	Zone A	Zone B	Zone C	Zone D	Average
1	3.31	3.10	2.97	2.75	3.03
2	1.30	1.34	1.76	1.39	1.44
3	0.66	0.91	0.97	0.83	0.84

편차에 영향을 미치는 파라미터(노즐직경, 제트박스의 직경, 노즐의 홀 피치)의 조건을 각각 1(80 mm), -1(30 mm), 0(100 mm)인 경우에 대한 파우치 내부의 온도편차를 나타내었다. 상온에서 스티밍에 의하여 온도가 상승하기 시작하여 약 6.5 min 후에 목표 온도까지 도달하였다. 이후 제어 밸브(control valve)를 이용하여 살균기 내부의 온도를 제어하고 있으나 설계 파라미터의 영향으로 평균적으로 약 3.03°C의 온도 편차를 나타내었다.

Fig. 11은 3개의 설계 파라미터의 조건을 각각 0(65 mm), 1(40 mm), -1(75 mm)인 경우에 대한 테스트 결과이다. 이 경우에는 약 7.2 min 이후에 목표 온도에 도달하였으며, 파우치 내부 온도편차의 평균은 약 1.44°C를 나타내었다.

Fig. 12는 3개의 설계 파라미터의 조건을 각각 -1(50 mm), 0(35 mm), -1(75 mm)인 경우에 대한 파우치 내부의 온도편차를 테스트 한 결과이다. 이 테스트 조건에서는 목표 온도까지 상승하는데 약 7.3 min 정도 소요되었으며 온도편차의 평균은 약 0.84°C를 나타내었다. 따라서 조건 3과 같이 설계 파라미터를 최적화하면 온도편차가 가장 작다는 것을 알 수 있으며 이는 3장에서 설계 파라미터를 해석적으로 최적화 한 Fig. 8의 결과와 일치한다.

Table 6은 이상과 같은 온라인 테스트의 결과로부터 살균기의 영역별 평균 온도편차를 나타내었다.

5. 결론

본 논문에서는 배치식 살균기의 문제점을 분석하여 롤러와 체인을 이용한 연속 살균기를 설계하고 온도 편차를 제어하였다. 살균기의 설계 파라미터를 이용하여 온도를 해석하였으며, 반응표면분석법을 이용하여 설계 파라미터들을 최적화하였다. 또한 살균기의 실험장치를 개발하여 온라인으로 테스트를 실시하여 해석적으로 최적화

를 실시한 파라미터와 비교하였다.

이를 위하여 파우치를 연속적으로 이송시킬 수 있도록 연속 살균기를 설계하였다. 실험장치의 1/10로 축소한 살균기의 컴퓨터 해석 결과 온도가 95℃까지 상승하여 수렴하기까지 스팀의 유동이나 압력 변화가 크지 않았다. 그리고 반응표면 분석법에 의하여 노즐의 직경과 홀 피치가 작을수록 살균기 내부의 온도편차가 양호하게 제어되었다.

본 연구에서 제안한 설계 파라미터를 이용하여 살균기의 실험장치를 개발하였고 현장에서 온라인으로 적용한 결과 온도편차는 약 0.84℃로 살균기 내부의 온도편차 기준인 1.7℃를 만족하였다. 또한 해석적으로 최적화를 실시한 결과와 동일한 최적조건을 도출하였다.

후 기

이 논문은 2015학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.

참고문헌 (References)

- (1) Park, M. H., 1982, Retort Food, KyoHakSa, Seoul, pp. 110~150.
- (2) Chen, G., Campanella, O. H., Corvalan, C. M. and Haley, T. A., 2008, "On-Line Correction of Process Temperature Deviations in Continuous Retorts," *Journal of Food Engineering*, Vol. 84, Iss. 2, pp. 258~269.
- (3) Smout, C., Loey, A. V. and Hendrickx, M., 2001, "Role of Temperature Distribution Studies in the Evaluation and Identification of Processing Conditions for Static and Rotary Water Cascading Retorts," *Journal of Food Engineering*, Vol. 48, Iss. 1, pp. 61~68.
- (4) Chen, C. R. and Ramaswamy, H. S., 2004, "Multiple Ramp-Variable Retort Temperature Control for Optimal Thermal Processing," *Food and Bioproducts Processing*, Vol. 82, Iss. 1, pp. 78~88.
- (5) Llave, Y. A., Hagiwara, T. and Sakiyama, T., 2012, "Artificial Neural Network Model for Prediction of Cold Spot Temperature in Retort Sterilization of Starch-Based Foods," *Journal of Food Engineering*, Vol. 109, Iss. 3, pp. 553~560.
- (6) Chen, C. R. and Ramaswamy, H. S., 2002, "Modeling and Optimization of Variable Retort Temperature (VRT) Thermal Processing using Coupled Neural Networks and Genetic Algorithms," *Journal of Food Engineering*, Vol. 53, Iss. 3, pp. 209~220.
- (7) Simpson, R., Figueroa, I. and Teixeira, A., 2007, "Simple, Practical, and Efficient On-Line Correction of Process Deviations in Batch Retort Through Simulation," *Food Control*, Vol. 18, Iss. 5, pp. 458~465.
- (8) Ryfa, A., Buczynski, R., Chabinski, M., Szlek, A. and Bialecki, R. A., 2014, "Decoupled Numerical Simulation of a Solid Fuel Fired Retort Boiler," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 73, Iss. 1, pp. 794~804.
- (9) Simpson, R., Figueroa, I. and Teixeira, A., 2006, "Optimum On-Line Correction of Process Deviations in Batch Retorts through Simulation," *Food Control*, Vol. 17, Iss. 8, pp. 665~675.
- (10) Simpson, R., Abakarov, A. and Teixeira, A., 2008, "Variable Retort Temperature Optimization using Adaptive Random Search Techniques," *Food Control*, Vol. 19, Iss. 11, pp. 1023~1032.
- (11) Park, C. J., 2012, "Dynamic Temperature Control with Variable Heat Flux for High Strength Steel," *International Journal of Control, Automation, and Systems*, Vol. 10, No. 3, pp. 659~665.
- (12) Lee, J. H., 2002, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Taehun Publishing, Seoul, pp. 54~109.
- (13) Dukhan, N., Al-Rammahi, M. A. and Suleiman, A. S., 2013, "Fluid Temperature Measurements Inside Metal Foam and Comparison to Brinkman-Darcy Flow Convection Analysis," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 67, pp. 877~884.
- (14) Ha, M. Y. and Choi, B. S., 1999, "A Numerical Study of Turbulent Flow, Heat Transfer, and Solidification in Twin-Roll Continuous Casting," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 23, No. 1, pp. 12~24.

- (15) Park, C. J., 2015, "Design of Continuous Sterilizer for Retort Pouch," *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, Vol. 19, No. 2, pp. 57~63.
- (16) Park, C. J., Han, S. H., Lee, D. M. and

Kwon, W. H., 2007, "Direct Width Control Systems based on Width Prediction Models in Hot Strip Mill," *ISIJ International*, Vol. 47, No. 1, pp. 105~113.