한국동력기계공학회지 제19권 제2호 pp. 57-63 2015년 4월 ISSN 1226-7813(Print) ISSN 2384-1354(Online)
Journal of the Korean Society for Power System Engineering http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2015.19.2.057
Vol. 19, No. 2, pp. 57-63, April 2015

레토르트용 연속 살균기의 개발
Design of Continuous Sterilizer for Retort Pouch

박철재*†
Cheol-Jae Park*†

(Received 15 January 2015, Revision received 25 February 2015, Accepted 25 February 2015)

Abstract: In this paper, we developed a continuous sterilizer in order to improve the productivity of the retort product. To this end, we design the sterilizer with a product inlet, outlet, and chain for continuously conveying the retort. The temperature analysis is performed to optimize the design parameters of the internal sterilizer. The experimental apparatus is developed to verify the productivity of the sterilizer based on the temperature analysis. The test is performed to optimize the evaluation parameters using Box-Behnken design method of a response surface methodology. From the test, the productivity of the continuous sterilizer is improved over 1,000 kg/h.

Key Words : Continuous Sterilizer, Retort, Temperature Analysis, Box-Behnken Design, Response Surface Methodology

1. 서 론

레토르트 식품은 조리 가공한 여러 가지 식품을 주머니에 넣어 밀봉한 후 고압 가열 살균기에 넣어 고온에서 가열 살균하여, 공기와 광선을 차단한 상태에서 장기간 식품을 보존할 수 있도록 만든 가공 저장식품이다. 레토르트 식품의 장점은 통조림 식품과 같이 장기간 보관이 가능하고, 통조림 식품에 비하여 가벼우며, 휴대, 운반, 취급이 용이하며, 개봉 및 폐기물처리가 쉽다. 또한 가열시간이 짧아서 조리시간이 단축 된다[1]. 레토르트 파우치에 음식을 익힌 것을 연속충전기로 넣고 가열하여 봉한다. 이것을 가압살균, 가압냉각 장치로 120℃ 이상의 온도에서 가열 살균하여 즉시 냉각시킨다. 레토르트 식품의 살균처리를 위한 가열 방법은 수증기식과 열수식 방법을 많이 쓰고 있다.

레토르트 살균기와 관련된 연구는 주로 제품의 생산성과 온도편차를 제어하는 연구가 많이 진행되고 있다[2-4]. 레토르트의 가변 온도제어가 살균공정 시간을 최적화하기 위하여 신경회로망 모델과 학습을 통하여 제품의 품질을 향상 시킨다[5,6]. 레토르트 살균과정에서 온도편차를 온라인으로 보정하기 위하여 온라인 모델을 개발하고 프로세스를 최적화하여 제품의 온도 프로파일을 제어 한다[7-11].

기존의 레토르트 살균기의 문제점은 다음과 같다. 첫째, 살균기의 제품 이송은 배치(batch) 방식을 사용하고 있으며 고온, 고압의 살균방식을 많이 이용하기 때문에 생산성이 크게 떨어진다. 배치식 살균기는 레토르트 제품을 투입하는 장치와 가열 살균하는 장치, 냉각하는 장치가 직선형태로

*† 박철재(교신저자) : 대구대학교 기계자동차공학부
E-mail : cjpark@daegu.ac.kr, Tel : 053-850-6686

*† Cheol-Jae Park(corresponding author) : School of Mechanical and Automotive Engineering, Daegu University.
E-mail : cjpark@daegu.ac.kr, Tel : 053-850-6686

배열되어 있어서 최대 500~600 kg/h 정도로 생산하고 있으며, 전량 수입에 의존하고 있다. 현재 프랑스에서 생산하는 살균기는 121℃에서 45분 가열 시 증기량은 1,300 kg/h 이며, 30℃에서 15분 냉각할 때 수(水)량은 약 16 ㎥/h 이다. 또한 고온(120℃ 이상), 고압(1~3 kg/cm^2) 방식이며, 제품의 온도편차는 약 2℃, 가열매체는 수증기를 이용한다. 둘째, 기존의 연속식 살균장치는 고온, 고압을 이용하여 탱크내의 제품을 살균하는 방식이므로 탱크의 용적을 크게 만들어 장치가 커질 뿐 아니라, 초기 투자비용이 크다는 단점이 있다.

본 논문에서 수행한 연구내용은 크게 두 가지로 대별된다. 첫째, 기존의 배치식 살균기의 생산성을 향상시키기 위하여 롤러와 체인을 이용한 연속 살균기를 모델링하고 개발하였다. 이를 위하여 온도해석을 통하여 살균기의 파라미터들을 설계하였다. 둘째, 실험계획법을 사용하여 개발된 살균기의 주요 파라미터들을 최적화하였다. 이를 통하여 기존의 배치식에 비하여 연속식 살균기의 생산성을 크게 향상시켰다.

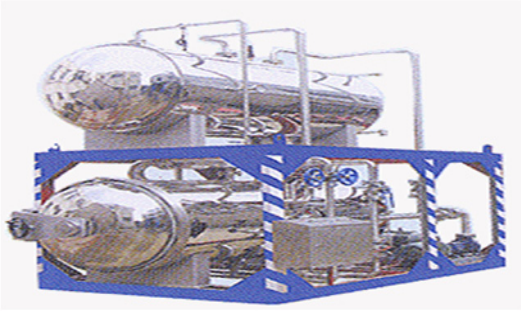

Fig. 1 Boiling typed sterilizer of retort

Fig. 2 Steam typed sterilizer of retort

2. 레토르트 살균기의 개발 동향

레토르트 제품을 제조하는데 사용되는 살균기는 제품을 이송시키는 방법에 따라 배치식과 연속식으로 구분한다. 이는 제품을 투입하는 방법과 살균처리 및 냉각이 연속으로 이루어지느냐에 따른 구분이다.

또한 살균기는 가열매체의 종류에 따라 열수식과 증기식으로 나눌 수 있다.

(1) 열수식 살균기

열수식은 Fig. 1과 같이 스팀에 의해 가열된 열수에 설정된 살균 온도에 따라 일정한 양의 공기로 압력을 가하여 이를 열매체로 사용하여 살균하는 방법이다. 그림에서 위쪽의 탱크(온수조)는 열수를 저장하는 곳으로 살균이 시작되기 전에 물이 살균 설정온도보다 5℃ 가량 낮은 온도로 가압, 가열된다. 온수조에서 가열된 열수는 아래쪽 살균 탱크(처리조)로 분사된 후 순환 펌프에 의해 순환되면서, 설정온도로 유지되기 위하여 스팀이 순환되는 열수와 혼합 주입되는 방식으로 작동한다. 살균이 끝나면 급수 펌프에 의해 열수는 온수조로 냉각수 유입과 동시에 회수된 후 순환 펌프에 의해 냉각수가 순환하면서 제품을 냉각시킨다.

(2) 증기식 살균기

Fig. 2는 증기식 살균기를 나타내며, 열매체로서 스팀과 공기의 혼합체를 사용하는 방법이다. 스팀과 공기의 양을 조절하여 설정온도에 따라 일정온도와 압력을 유지시켜 살균한다. 만약 식품용기의 내압과 레토르트 내압과의 편차가 크게 생기면 용기의 변형을 일으킬 수 있다. 따라서 증기식은 용기 내압에 대응하는 공기의 가압이 필요하다.

3. 연속 살균기의 모델링 및 설계

본 연구에서는 제조 원가를 낮추면서 제품 생산량을 극대화하고 제품의 온도편차도 감소시킬 수 있는 연속식 스팀 살균기를 개발한다. 본 연구

에서 개발하는 연속 살균기의 기본 사양과 목표는 Table 1과 같다.

연속 살균기의 온도 편차를 해석하기 위한 모델링은 Fig. 3과 같다. 레토르트 제품의 투입과 배출을 위하여 제품 투입구(inlet), 배출구(outlet)을 각각 설계하였고, 하부에는 스팀 분사를 위한 노즐을 설계하였다. 또한 레토르트를 연속적으로 이송하기 위하여 체인을 설치하여 롤러(roller)로 구동시켰다. 살균기의 내부 온도를 측정하기 위하여 TC (thermo couple)를 3개 설치하였다. Fig. 4는 이상과 같은 연속 살균기의 설계 개념을 나타내었다.

4. 연속 살균기의 온도해석

본 장에서는 살균기 내부의 설계 파라미터들을 선정하기 위하여 온도해석을 실시한다. 온도해석을 위하여 먼저 파라미터들을 몇 가지 조건으로 선정하고 살균기의 온도가 일정온도에서 변경되었을 때 얼마나 빨리 온도가 회복되는지 해석하여 살균기 내부의 홀(hole) 직경, 노즐 길이, 홀의 수, 송풍속도 등을 선정한다. 여기서는 상온(25℃)에서 95℃까지 살균기의 온도를 상승시켰을 때 해석조건에 따라 최적의 시간 내에 살균기의 온도가 균일하게 되는 시간을 해석하는 방법을 이용하였다.

살균기의 파라미터들을 최적으로 선정하기 위한 컴퓨터 해석 조건은 Table 2와 같다.

Table 1 Specifications of continuous sterilizer

Parameter	Unit	Value
Retort production	kg/h	1,000
Steam quantity(95℃, 45min)	kg/h	500
Water quantity(30℃, 15min)	m^3/h	7
Temperature of sterilizer	℃	95
Pressure of sterilizer	kg/cm^2	1
Temperature deviation of retort	℃	2
Maximum design temperature of sterilizer	℃	98
Gross weight of sterilizer	kg	2,000

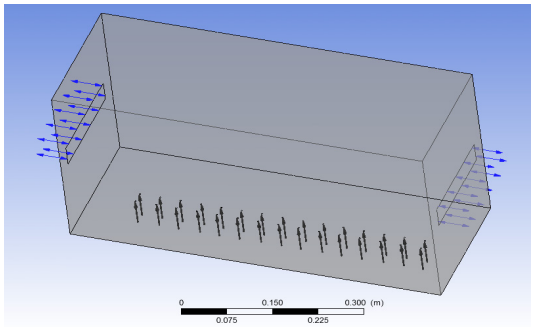

Fig. 3 Modeling of sterilizer for analysis

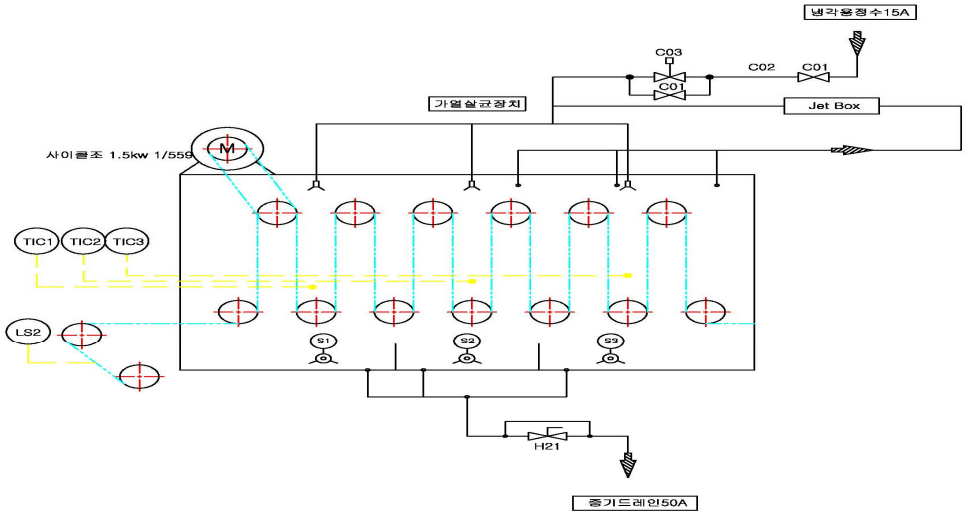

Fig. 4 Design of continuous sterilizer

Table 2 Conditions of temperature analysis

Parameter	Cond.1	Cond.2	Cond.3
Hole dia.(mm)	3	5	7
Nozzle length(mm)	500	600	630
Number of hole	30	45	60
Pressure(kg/cm^2)	2	1.5	1
Blasting speed(m/s)	10	20	30

Fig. 5는 해석조건 1을 이용하여 연속 살균기의 온도를 상온에서 95℃까지 상승시켰을 때의 온도 해석 결과이며, 살균기 단면에서의 온도변화를 나타낸다. 살균기 하부 홀의 직경이 3 mm, 홀의 수는 30개, 송풍속도 10 m/s로 낮게 설계한 결과 살균기의 온도가 95℃까지 균일하게 가열되는 시간은 약 1,000 sec가 소요 되었다. 이는 그림에서 보는 것과 같이 온도 변화가 느리게 진행되는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 해석조건 2와 같이 살균기 내부의 홀, 송풍속도를 설정하여 온도해석을 실시한 결과이다. 해석결과 상온에서 95℃까지 온도가 상승한 시간은 약 11.8 sec 소요되었으며, 해석조건 1에 비하여 약 98.8% 정도 시간이 단축되었음을 알 수 있다.

Fig. 7, Fig. 8은 해석조건 3과 같이 살균기 내부의 파라미터를 설정하였을 때 온도해석과 스팀의 유동해석 결과이다. 살균기 전체가 95℃까지 온도가 상승하는데 약 3.9 sec의 시간이 소요되었으며 조건 1, 2에 비하여 각각 99.6%, 66.9%의 시간이 단축되었다. 또한 3.9 sec 정도의 시간에 살균기 내부의 스팀 유동도 균일한 흐름을 보인다는 것을 알 수 있다.

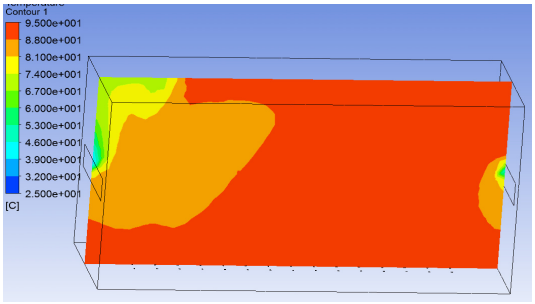

Fig. 5 Temperature analysis under condition 1

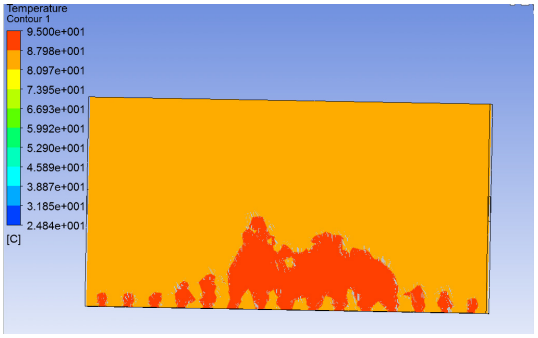

Fig. 6 Temperature analysis under condition 2

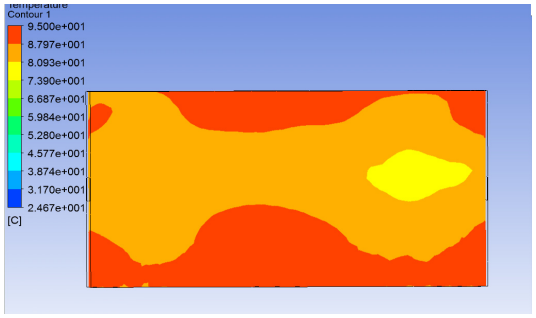

Fig. 7 Temperature analysis under condition 3

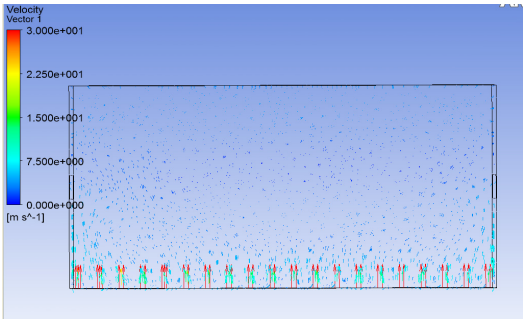

Fig. 8 Steam flow analysis under condition 3

5. 연속 살균기의 테스트

본 연구에서는 4장에서의 온도해석 결과를 바탕으로 연속 살균기의 실험장치를 개발하였다. 개발된 연속 살균기로부터 레토르트의 생산성을 높이기 위한 실험을 실시하였다. 연속 살균기의 생산성은 배치식과 달리 Table 1과 같이 1,000 kg/h를 목표로 한다.

Fig. 9 Experimental apparatus of continuous sterilizer

Fig. 9는 본 연구에서 개발된 실험장치이다. 장치의 사이즈는 7,080×2,300×3,837 mm, 재질은 STS 304, 최대 98℃까지 가열가능하며, 무게는 960 kg이다. 실험장치의 정면 도어(door)는 3개이며 장치내의 온도제어를 목적으로 편의상 3개의 챔버(chamber)로 나뉘어져 있으나 물리적으로는 연결되어 있다.

생산성 테스트는 실험계획법을 이용하여 평가항목들의 인자를 최적화하는 방법으로 진행하였다. 본 연구에서는 반응표면분석(RSM: response surface methodology)을 이용하였다. 반응표면분석은 여러 개의 설명 변수들이 복합적인 작용을 함으로써 하나 또는 그 이상의 반응변수에 영향을 주고 있을 때, 정량적인 실험변수(또는 요인)들의 집합으로 나타나는 반응의 표면에 대한 분석을 통해 반응변수를 최적화 할 수 있는 변수의 조건을 찾기 위한 통계적인 분석 방법이다. 여기서는 RSM 설계법 중에 현업에서 많이 사용하는 Box-Behnken 설계법을 이용한다.

본 논문에서는 레토르트의 생산성 향상을 위해 레토르트의 처리용량을 테스트한다. 이는 연속 살균기가 전체적인 하나의 이송속도로 제어 될 때 개발 목표인 1,000 kg/h를 달성할 수 있는 인자를 찾는 것이다. 먼저 처리용량을 위해 3개의 인자(레토르트의 이송속도, 스팀배관의 직경, 스팀배관의 노즐 직경)를 선택하였다. Table 3은 처리용량을 테스트하기 위한 인자들과 인자의 수준을 나타내었다.

Table 3 Factor and level of RSM

Factor	Unit	Factor level		
		-1	0	1
Speed	Hz	47	50	53
Steam pipe dia.	mm	50	65	80
Nozzle dia.	mm	5	8	10

Table 4 Test results of production

Run order	Speed	Steam pipe dia.	Nozzle dia.	Production
1	1	0	-1	1,078
2	1	-1	0	1,078
3	-1	0	1	955
4	0	1	-1	1,016
5	0	0	0	1,016
6	-1	1	0	955
7	0	0	0	1,016
8	0	-1	-1	1,016
9	0	1	1	1,016
10	-1	-1	0	955
11	0	0	0	1,016
12	1	0	1	1,078
13	-1	0	-1	955
14	1	1	0	1,078
15	0	-1	1	1,016

Table 4는 미니탭(MiniTab) 프로그램을 이용하여 DOE (design of experiment)를 실시하고, 레토르트의 처리용량을 테스트한 결과를 나타내었다.

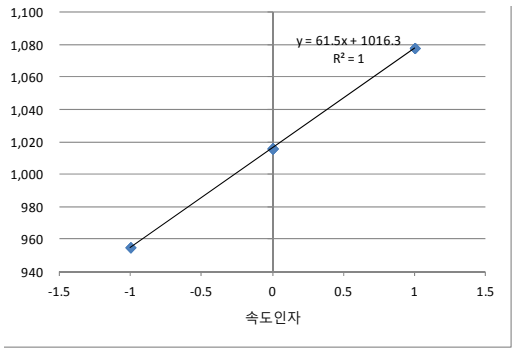

Fig. 10 Test of speed and production

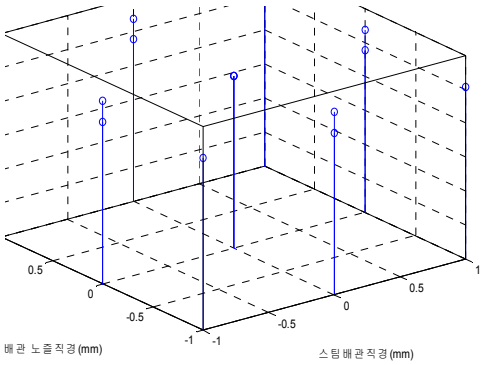

Fig. 11 Test of nozzle, steam pipe and production

Fig. 10은 이송속도와 레토르트의 처리용량과의 테스트 결과를 나타내었다. DOE에 의한 모든 경우에 대한 실험에 의하여 속도인자가 0 이상인 경우, 즉 50 Hz 이상의 이송속도에서는 처리용량이 목표치를 상회할 수 있는 1,016 kg/h 이상을 달성할 수 있었다.

Fig. 11은 살균기 내부의 스팀배관의 직경, 스팀배관의 노즐의 직경과 레토르트의 처리용량과의 관계를 나타낸다. 그림에서 노즐직경의 인자가 1(10 mm), 배관 직경의 인자가 1(80 mm)의 경우에는 목표 처리용량인 1,000 kg/h를 달성할 수 있지만 인자가 1 미만의 경우에는 목표 처리용량을 달성할 수 없다는 것을 알 수 있다.

Table 5 Test results of production

Term	Coef.	SE coef.	T	P
Constant	1016.27	0.075	13512.36	0.0
Speed	61.5	0.103	597.1	0.0
Steam pipe dia.	-0.0	0.103	-0.0	1.0
Nozzle dia.	-0.0	0.103	-0.0	1.0

Table 5는 Box-Behnken 설계법을 이용하여 처리용량과 속도, 스팀배관의 직경 및 스팀배관 노즐직경과의 1차 선형관계를 회귀분석으로 추정한 결과이다. 표에서 처리용량은 속도의 경우 p값이 0으로써 유의수준(α=5%) 보다 작아서 통계적으로 유의하며, 모델의 결정계수인 R^2의 값이 100%로써 처리용량은 속도와 아주 밀접한 관계를 가진다는 것을 알 수 있다. 따라서 레토르트의 처리용량은 50 Hz의 이송속도에서 작업하면 1,000 kg/h의 처리용량을 달성할 수 있다는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 레토르트 제품의 생산성을 향상시키기 위하여 연속 살균기를 개발하였다. 이를 위하여 레토르트 제품의 투입구, 배출구, 스팀 분사 노즐 및 제품을 연속적으로 이송시키기 위한 체인 등을 포함하여 연속 살균기를 모델링하고 설계하였다.

연속 살균기 내부의 설계 파라미터 등을 최적화하기 위하여 온도해석을 실시하였다. 해석결과 노즐 홀의 직경이 7 mm, 노즐의 길이 630 mm, 홀은 60개 이상, 압력은 1 kg/cm^2, 송풍속도는 30 m/s 에서 살균기 내부 온도를 상온에서 95℃까지 가장 빨리 온도를 상승시킬 수 있었다.

온도해석 결과를 바탕으로 연속 살균기를 제작하여 살균기의 생산성을 테스트 하였다. 테스트는 반응표면 분석법의 Box-Behnken 설계법을 이용하여 평가항목들의 인자를 최적화하는 방법을 사용하였다. 테스트 결과 제품의 이송속도는 50 Hz 이상, 스팀 파이프의 직경은 80 mm 이상, 노즐의 직경은 10 mm 이상인 경우에 목표 생산량 1,000 kg/h를 달성할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2014학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.

References

1. M. H. Park, 1982, "Retort food", KyoHakSa, pp. 110-150.
2. Y. A. Llave, T. Hagiwara and T. Sakiyama,

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.
3. C. Smout, A. V. Loey and M. Hendrickx, 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. G. Chen, O. H. Campanella, C. M. Corvalan and T. A. Haley, 2008, "On-line correction of process temperature deviations in continuous retorts", Journal of Food Engineering, Vol. 84, Iss. 2, pp. 258-269.
5. C. R. Chen and H. S. Ramaswamy, 2004, "Multiple Ramp-variable Retort Temperature Control for Optimal Thermal Processing", Food and Bioproducts Processing, Vol. 82, Iss. 1, pp. 78-88.
6. C. R. Chen and H. S. Ramaswamy, 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. A. Ryfa, R. Buczynski, M. Chabinski, A. Szlek and R. A. Bialecki, 2014, "Decoupled numerical simulation of a solid fuel fired retort boiler", Applied Thermal Engineering, Vol. 73, Iss. 1, pp. 794-804.
8. R. Simpson, I. Figueroa and A. Teixeira, 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.
9. R. Simpson, I. Figueroa and A. Teixeira, 2006, "Optimum on-line correction of process deviations in batch retorts through simulation", Food Control, Vol. 17, Iss. 8, pp. 665-675.
10. R. Simpson, A. Abakarov and A. Teixeira, 2008, "Variable retort temperature optimization using adaptive random search techniques", Food Control, Vol. 19, Iss. 11, pp. 1023-1032.
11. C. J. Park, K. S. Yoon and C. H. Lee, 2010, "Advanced temperature control of high carbon steel for hot strip mills", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 24, No. 5, pp. 1011-1017.