

통조림 식품의 살균중 에너지 소비

이동선 · 신희년 · 박노현 · 신동화 · 서기봉

농어촌개발공사 식품연구소
(1983년 3월 7일 수리)

Energy Consumption in Sterilization Process

Dong Sun Lee, Hyu Nyun Shin, Know Hyun Park, Dong Hwa Shin
and Kee Bong Suh

Food Research Institute, AFDC, Banweol-Myun, Hwaseung-Kun Kyounggi-Do,
170-31, Korea

(Received March 7, 1983)

Abstract

In order to obtain practical information for efficient energy usage in sterilization, energy consumption was monitored for various processing variables, i.e. heat transfer type (conduction and convection), can size (No. 202-2, No. 301-3, No. 301-7, and No. 603-2), retorting temperature (110 °C-121 °C and 130 °C), and sterilization method (steam, and hot water sterilization). Less energy was consumed for smaller can size and higher temperature, and this trend was more distinguished in conductive food than convective food. Hot water sterilization could lower energy consumption in conductive food, but not in convective food. Energy consumption data of this work was reasonable when compared with energy consumption of sterilization in canneries, and therefore thought to be able to be used for estimation, design and optimization of energy consumption in sterilization.

서 론

통조림 식품의 加工중에는 살균과 자속공정에서 가장 많은 에너지가 사용되고 있으며 이 두 공정에서의 에너지 절약가능성을 찾는 것이 에너지 절약형의 공정개발을 위해서는 필요한 일이다¹⁾. 이 중, 殺菌工程에서의 에너지消費에 대해서는 품목별로 에너지 소비량이 조사되어 일부 발표되고 있을 뿐이며, 연속공정인 常壓低溫殺菌에 대해서 에너지분석이 이루어져 있는 형편이다²⁾ 低酸性 食品의 高溫殺菌에서는 여러 요인에 따른 에너지 소비의 분석이 이루어져 있지 않다.

실제 저산성 식품의 살균에서는 미생물의 사멸에 기준을 둔 F₀값과 함께 품질보존문제로 인하여 工場에서는 製品마다 독특한 殺菌溫度와 時間등에서 살균공정이

이루어 지고 있으며, 이런 工程은 에너지 위기 이전에 確立되었기 때문에 에너지 절약이라는 관점에서 설계되지 못한 점도 많다.

現在까지 殺菌에 대해서는 微生物의 사멸과 함께 영양성분의 보존 측면에서 최적화하려는 시도가 이루어져 왔으며 대체적으로 살균온도는 현재 많이 행해지는 121°C 부근이 영양보존을 극대화시키고 관형의 형태로는 납작하거나 길쭉한 형태가 많은 영양보존을 가져왔다³⁻⁴⁾ 또 定溫殺菌이 아닌 變溫殺菌에 의하여 크게 영양성분 보존을 向上시킬 수 없었고, 전반적으로 레토티온도를 265°F까지 점증시킨 후 점차 감소시키는 방식이 약간 좋은 경향이었다⁵⁾. 最近 Bhowmik과 Hayakawa 는 batch살균에서의 에너지 소비를 熱 및 物質収支로 부터 수학적으로 풀고 이로부터 250°F와 265°F를 병행한 Single square wave살균방식이 250°F 定溫殺菌보

다 6% 적은 에너지를 소비하는 것으로 제시하였다⁽⁴⁾ 우리나라에서는 1978년에 수행된 전국 통조림 공장에서의 殺菌現況調査에 의하면 工場간의 격차가 심하고 대체적으로 과잉 열처리되고 있음이 나타난 바 있다⁽⁵⁾

本 實驗에서는 살균공정에 있어서 현장에서 적용가능한 여러 加工變數에 對하여 에너지 소비를 측정하고 이를 분석하고 이결과가 앞으로의 에너지 절약형 살균공정에 이용되는 자료로 제시코자 하였다.

재료 및 방법

모델식품의 제조

통조림 살균에서 실제 식품의 열 침투성의 범위를 포괄하면서 열전달 형태로서 傳導 및 對流열전달을 대표할 수 있는 모델식품으로서 각각 5% 벤토나이트분산액과 물을 사용하였다. 현장에서 많이 쓰이는 缶型에 따른 에너지 소비의 차이를 보기 위하여 각 시료는 제조후 각각 3호관(202-2호관, $\phi 52.3 \times 104.3\text{mm}$), 휴대관(301-3호관, $\phi 74.1 \times 50.5\text{mm}$), 4호관(301-7호관, $\phi 74.1 \times 113.0\text{mm}$), 특 1호관(603-2호관, $\phi 153.5 \times 1768\text{mm}$)에 충전하였다. 충전후 3분간 100°C의 탈기함에서 탈기시킨 후 밀봉, 살균후 반복 사용하였다. 5% 벤토나이트는 Townsend 등의 방법에 준하여 121°C에서 3시간씩 2차례 加熱하여 벤토나이트액이 전도형 열전달을 나타낼 수 있게 안정화시켰다⁽⁷⁾. 각 缶型別 충전량은 3호관 200ml, 휴대관 180ml, 4호관 430ml, 특 1호관 2940ml로 하였다.

살균

加工된 모델식품을 크기 $\phi 60\text{cm} \times 83\text{cm}$ 의 Duxie No. 3 레토르트에서 1batch씩 110°C, 121°C, 130°C의 各溫度條件에서 殺菌하였다. 증기압 5 kg/cm²의 증기가 사용되었고 배기시간은 5분으로 조정하였다. 스팀인입관은 직경 1"파이프였고, bleeder는 직경 1/8" pinch cork를 半開한 조건에서 고정하였다. 열수살균과의 비교를 위하여서는 121°C에서 4호관을 살균하면서 증기살균과 비교하였다. 열수살균을 위해서는 레토르트 부피의 1.5배의 121°C 물을 열수저장탱크에 저장하면서 레토르트 살균시작과 함께 유입시킨 후 스팀을 주입하면서 121°C로 유지하고 살균중 가열수를 물펌프에 의하여 순환시켰다.

각 통조림의 살균시간 결정을 위하여 레토르트 중심부에 있는 통조림 중심에 Copper-Constantan thermocouple을 꼽아 熱浸透曲線을 측정하여 이로부터 가열곡선과 냉각곡선의 특성치인 f_h , j_h , j_c 값들을 구하고 이로부터 Stumbo의 formula법을 이용한 Jamieson의

TI-59용 computer program에 의하여 살균시간을 결정하였다. 殺菌值가 일정한 조건에서의 비교를 위하여 일반적인 저산성 식품의 안정살균치로 F_0 값 9까지 살균하는데 소요되는 살균시간을 결정하였고, 이때의 초온은 실험중의 통조림의 평균초온인 28°C로 잡고 계산하였다.

에너지消費의 측정

各 통조림의 살균에 所要되는 증기량을 ITT Barton concentric square edge orifice 유량계에 의하여 측정하였다. 증기의 乾度는 열량계적 方法에 의하여 구하였고 이로부터 증기의 엔탈피와 사용증기량을 곱하여 열에너지 사용량으로 결정하였다. 소비열에너지 중 食品의 加熱에 소비된 에너지의 比인 加熱效率의 제산을 위하여 살균중 加熱終點에서의 食品平均溫度를 알아야 하므로 전도형 식품의 경우는 Hayakawa의 graph에 의하였고 대류형 식품의 경우는 중심온도를 식품의 평균온도로 사용하였다. 전기에너지는 적산전력계(대한전선(주) 제 D-69-A형)에 의하여 측정하였다.

결과 및 고찰

증기살균 중의 에너지消費

傳導型 및 對流型 食品의 各殺菌溫度別, 缶型별로 본 실험의 1 batch retort 살균에 소비되는 에너지는 Fig. 1, Fig. 2와 같았다. 대체적으로 전도형, 대류형 모두 殺菌溫度가 높을수록 같은 F_0 값 살균에 적은 에너지가 소비됨을 보여주고 있다. 그리고 121°C와 130°C의 살균 온도사이에는 상대적으로 에너지소비의 차가 적는데 비해 110°C 살균은 121°C에 비해 크게 差異를 보이고 있다. 대류형 식품에서 전도형에 비해 적은 에너지를 소비하고 있으며 살균온도, 缶型에 따른 에너지 소비의 차도 적게 나타난다. 그리고 缶型별로는 부피가 큰 통조림일수록 많은 에너지를 소비하고 있으며 이는 살균이 통조림 중심부의 열처리에 기준을 두고 행하여짐으로 인하여 열 침투가 느린 대형관에서 살균시간이 길고 이로 인하여 많은 에너지가 소비되는 결과이다. 그리고 휴대관이 3호관에 비해 상대적으로 부피가 약간 적으면서도 살균에 많은 에너지가 소비됨은 缶관의 길이와 지름의 比, 즉 L/D 값에 따른 열침투속도의 차이에 의한 것으로 해석된다. 비슷한 부피의 경우 L/D 값이 1.99인 3호관이 L/D 값이 0.68인 휴대관에 비해 열전달이 빠르고 에너지소비가 적으며 이러한 결과는 Teixeira⁽⁸⁾가 영양성분 보존을 위하여 살균조건을 검토한 증 통조림 缶관의 L/D 값이 1에서 log scale로 보면 멀수록 살균시간이 짧고 영양성분의 보존이 많다는

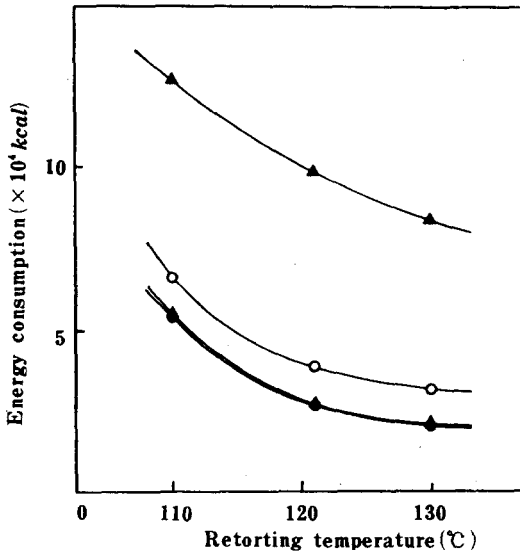


Fig 1. Energy consumption for sterilizing 1 batch retort of conductive canned food.

- No. 202-2 can*
- △—No. 301-3 can
- No. 301-7 can
- ▲—No. 603-2 can

*Refer to Korean standard D-9004

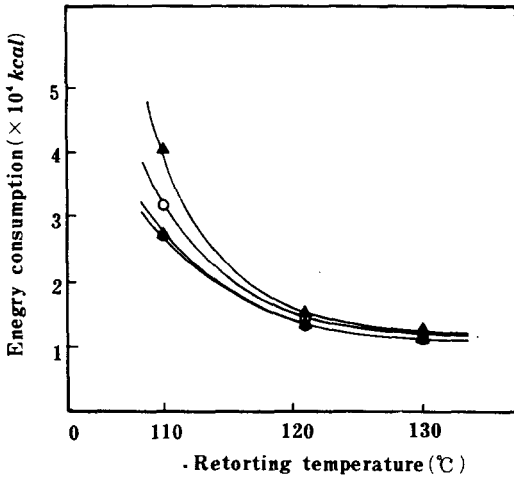


Fig 2. Energy consumption for sterilizing 1 batch retort of convective canned food.

- No. 202-2 can
- △— No. 301-3 can
- No. 301-7 can
- ▲— No. 603-2 can

결과와 일치하고 있다.

통조림 살균에 소비되는 에너지를 동일중량기준의 비교를 위하여 내용물 1kg의 살균에 소비되는 에너지를 나타내면 Table 1과 같다. 전체적으로 전도형 보다는 대류형이, 고온도, 소형관이 적은 에너지를 소비하는 Fig 1과 Fig 2의 경향을 보여주고 있지만, 대류형 식품의 살균시에는 121°C와 130°C 살균에서 관형별 차이가 거의 나지 않고 있다. 이는 대류형 식품의 열전달시 열전달이 빠르고 특히 살균효과가 큰 121°C의 고온에서는 실제 관형별 열침투의 차이가 크지 않고 이로 인해 살균시간과 에너지 소비에도 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타난다. 또, 전도형 식품에서 Bhowmik과 Hayakawa의 Single square wave형태의 레토트온도 변경이 저에너지를 소요한다는 이론적인 결과는¹⁾ 고온 살균이 적은 에너지를 소비하는 본 실험의 결과로서 볼 때는 高温殺菌의 효과가 포함된 것에 기인한 것으로 생각된다.

Table 1. Energy consumption in sterilization for various processing variables

Heat transfer type*	Can size	Energy consumption (Kcal/kg) Retorting temperature (°C)		
		110	121	130
Conductive	202-2	652	325	257
	301-3	716	356	281
	301-7	854	511	417
	603-2	1,597	1,248	1,067
Convective	202-2	320	164	138
	301-3	358	180	151
	301-7	410	185	154
	603-2	509	194	153

*Conductive model food; 5% bentonite suspension
Convective model food; tap water

加熱效率

전도형 식품 및 대류형 식품을 살균하는데 소비되는 열에너지 중 실제 식품의 가열에 소비된 에너지의 비율을 보면 Table 2와 같다. 식품의 加熱에 사용된 에너지의 비율은 대류형 식품의 경우가 전도형 식품의 경우보다 훨씬 높은 값을 나타낸다. 전도형 식품의 경우 加熱效率이 5.1~39.3%의 범위에 있으며 저온, 큰 공간일수록 낮았고, 이러한 경향은 16.1~72.9% 범위의 加熱效率을 나타내는 대류형 식품에서도 同一한 경향이다. 이러한 결과는 살균중 가열이 빠르면 빠를수록

가열효율은 높아지고 있음을 시사하고 있다.

이등에⁽¹⁾ 의해 1981년에 수행된 현지공장의 에너지 소비 조사결과에서는 전도형 식품에 가까운 고등어 필렛 통조림의 경우 103-2 호관에 포장되어 114℃에서 살균될 때 효율이 15.3%를 보이고 있었고, 대류형 식품에 가까운 양송이 통조림이 603-2 호관을 중심으로 여러 공관에 포장되어 121℃ 살균시 38.2%의 효율을 보이고 있었는데, 이 결과를 본실험의 결과와 비교할 때, 고등어 필렛의 경우 110℃보다 높은 살균온도와 202-2 호관보다 작은 부피를 고려하면 본 실험치와 비슷한 결과로 생각되고 양송이의 경우는 121℃ 살균의 대류형 식품과 비교할 때 약간 낮은 값을 보이고 있는데, 이는 양송이 통조림이 많은 고형물을 갖고 있는 대류열전달에 의하여 본 실험의 물보다는 열전달이 늦은 관계로 생각되고 본 실험결과와 상응하는 관계로 보여진다. 따라서 본 실험에서의 에너지 소비 data는 현지공장에서 통조림 살균의 여러 변수에 따른 에너지 소비의 예측 및 최적화등에 이용될 수 있는 것으로 생각된다.

살균방법별 비교

熱水殺菌과 蒸氣殺菌을 比較하기 위하여 4 호관 (301-7 호관)을 121℃에서 살균할 때 소비되는 에너지를 보면 Table 3와 같다. 이에서 보면 전도형 식품의 경우 증기살균의 511kcal/kg의 에너지 소비에 비해 열수살균이 312Kcal/kg으로 적은 에너지를 소비하고 있으나, 대류형 식품의 경우 열수살균이 증기살균에 비하여 오히려 약간 많은 에너지를 소비하고 있다. 그리고 이러한 경향은 加熱效率에서도 마찬가지로 나타난다. 따라서 열매체의 회수보존이 가능한 열수살균에 의하여 전도형 열전달 식품의 경우 에너지 절감효과를 얻을 수 있으나, 대류형 식품의 경우는 효과가 없거나 더 많은 에너지가 소비될 것으로 생각된다.

결론적으로 본 실험에서의 여러 가공변수별 에너지 소비량 data는 현장의 에너지 소비절감을 위하여 이용될 수 있을 것으로 생각되며, 殺菌工程의 변경이나 설계시에는 미생물 사멸, 영양 분 보존과 함께 에너지 소비도 목적함수의 하나로 고려되어야 할 것이다.

요 약

통조림 살균에서 에너지의 효율적인 사용을 위하여 열전달형태, 살균온도, 가공공관, 살균방법등의 요인에 따른 에너지 소비를 검토한 바 高温에서 소형관형으로 살균할 때가 적은 에너지가 소비되고 있으며, 이러한 차이는 対流型 熱伝達食品보다 伝導型 熱伝達食品의 殺菌에 현저하였다. 열수살균으로는 증기살균에 비해 전도형 식품의 살균에 적은 에너지를 소비하였으나, 대류형 식품에서는 효과적이지 못하였다. 본 실험에서의 여러 조건별 에너지 소비 data는 현장에서의 에너지 소비예측, 에너지 사용설계 등의 여러 목적에 적용될 수 있는 것으로 판단된다.

Table 2. Energy efficiency in sterilization for various processing variables

Heat transfer type	Can size	Thermal energy efficiency(%) Retorting temperature (°C)		
		110	121	130
Conductive	202-2	12.6	28.6	39.3
	301-3	11.4	25.9	35.2
	301-7	9.6	18.0	23.7
	603-2	5.1	7.4	9.3
	202-2	25.6	56.6	72.9
Convective	301-3	22.9	51.8	66.2
	301-7	20.0	50.2	64.7
	603-2	16.1	47.9	65.6

Table 3. Comparison of energy consumption in sterilization for sterilization methods

Sterilization method	Heat transfer type	Energy consumption		Thermal energy efficiency (%)
		Thermal energy (Kcal/kg)	Electrical energy (Kwh/kg)	
Steam Sterilization	Conductive	511	-	18.0
	Convective	185	-	50.2
Water Sterilization	Conductive	312	0.0039	29.1
	Convective	234	0.0016	39.6

*Sterilization temperature; 121°C

Can size; No. 301-7 can

문헌

1. 이동선, 박노현, 신휴년, 신동화: 식품연구 사업보고(농개공), 348(1981)
2. Singh R. P. : *Food Technol.*, **31**, 57(1977)
3. Teixeira A. A., Zinsmeister G. E. and Zahradnik J. W. : *J. Food Sci.*, **40**, 656(1975)
4. Teixeira A. A., Dixon R. A., Zahradnik J. W. and Zinsmeister G. E. : *Food Technol.*, **23**, 845(1969)
5. Bhowmik S. R. and Hayakawa K. : *Steam Consumption for the Thermal Processing of Canned Food with Variable Retort Temperatures*, IFT 1982. Program, Lasvegas, p. 187(1982)
6. 유진영, 신동화, 김정옥, 박광훈, 민병용. 국내통조림 제품의 살균조건 조사 및 Fo value 비교연구 농어촌개발공사 식품연구소(1978)
7. Townsend C. T., Reed J. M., McConnel J., Powers M. J., Esselen W. B., Somers Jr. I. I., Dwyer J. I. and Ball C. O. : *Food Technol.*, **3**, 213(1949)
8. Jamieson M. F. S. : *Manual of Programmes for Thermal Process Evaluation with the Texas Instruments TI 59 Programmable Calculator* FAO Regional Office for Latin America(1980)
9. Hayakawa K. and Ball C. O. : *J. Inst. Food Tech. Aliment.*, **2**, 12(1969)