

컴퓨터 시뮬레이션에 의한 레토르트미반의 최적고온 살균조건

이신영 · 천병익 · 이상규*

강원대학교 발효공학과 *대전기계창

Computer Simulation for Optimal Conditions of High Temperature Sterilization of Cooked Rice Packed in Retort Pouch

Shin-Young Lee, Byong-Ik Chun and Sang-Kyu Lee*

Department of Fermentation Engineering, Kangwon National University, Chuncheon

*Taejon Machine Depot, Taejon

Abstract

Optimal quality retentions of cooked rice packed in retort pouch were simulated by computer using various thicknesses of retort pouch (5 to 24mm) and process temperatures (110 to 150°C). Optimal conditions were chosen by the minimal c-values and maximal thiamine retention when good bacteriological lethality (12D processing) was obtained. From the results of calculations, it were shown that the better quality retentions of high tharmal processing can be obtained below pouch thickness of 10mm and that the thickness of pouch is critical factor at higher processing temperature.

서 론

최근 레토르트식품의 산업적 생산체제가 확대됨에 따라 가열살균은 고온단시간살균의 경향이 높아지고 있다.⁽¹⁻³⁾ 이들 HTST 살균법은 그 동안 열전달이 빠른 유체식품에만 주로 사용하여왔으나, 레토르트의 우수한 전열특성을 잘 살리면 고체식품에의 적용가능성도 충분하다.⁽⁴⁾ 그러나 지금까지의 레토르트식품의 가열살균에 관한 연구는 110~120°C에서 장시간 살균하는 통상레토르트살균의 것이 대부분이었으며, 국내에서도 이들⁽⁵⁾ 및 변들⁽⁶⁾의 보고가 있다. 특히 고체식품의 고온살균에 관한 연구는 육류에 대한 Persson들의 연구⁽⁷⁾ 및 Olsson들의 이론적연구⁽⁸⁾가 일부 보고되었을 뿐, 국내의 경우는 고온살균시설 및 기술의 미비로 부진한 상태이다.

앞으로 우수한 품질의 각종 레토르트 신제품을 제조하기 위하여는 고도의 고온살균기술의 응용이 불가피하므로, 고체식품의 HTST 살균에 대한 충분한 연구 접토가 이루어져야한다. 그러므로 본 연구에서는 통상 레토르트살균의 대표적인 레토르트미반⁽⁹⁾의 고온살균가능성을 컴퓨터 simulation에 의하여 접토하고 자하였다. 즉, 통상 레토르트살균법으로 미반의 전열특성을 구하고, 이를 지금까지의 미생물내열성 및 관능과 영양성분의 보유에 대한 동력학적 모델에 적용하여

hi-retort 및 u-retort 살균조건에서의 온도-시간관계를 두께를 변수로 simulation 하였으며, 이로부터 적정고온살균의 기초자료를 마련하였다.

재료 및 방법

재 료

본 실험에 사용한 미반시료는 시판용 일반미 최상품이며, 포장재는 여러가지 크기의 레토르트 파우치 (polyester 12μ / Al.foil 9μ / Nylon 15μ / Cast polypropylene 60μ)이다.

미반의 제조

일반미 최상품을 세척하고 상온수에서 12시간 침지한 다음, 100°C의 수증기로 17분간 증자하였다. 이를 상온수에 7~10초간 담구어 날알분리하고 배수한 다음 미반시료로 하였다.

미반의 전열특성 측정시험

여러가지 크기의 레토르트 포장재에 미리 열전기쌍 고정용의 요소수지제 adaptor를 삽입하고, 여기에 시료 열성량(200g)을 두께를 달리하여(15-25mm) 충전, 밀봉하였다. 이를 수증기비 70%, 가열온도 120°C에서 열처리하고 열전달시험을 행하였다. 가열처리에

식에 따르는 고유점도 및 계수에 의하여 설명할 수 있었으며, 농후전분용액(1~5%)의 리올로지적 거동은 농도의 증가에 따라 시간의존성과 의가소성의 성질이 현저히 강해지는 특징을 나타내었다. 지수법칙을 적용하여 구한 점조도지수 값은 지수함수식에 따르는 농도 및 온도의존성을 나타내었다. 한편 이들 결과는 리올로지적 성질이 품종차이에 따라 크게 달라지는 경향을 보였다. 쌀보리전분은 겉보리전분보다 더 큰 고유점도값을 나타내었으며, 텍소트로픽성질이 더 강한 것으로 나타났다. 아울러 점조도지수 값의 농도 및 온도의존성도 더 높은 경향이였다. 그러나 보리전분은 다른 전분에 비하여 비교적 낮은 농도의존성과 높은 온도의존성을 갖는 특징을 보였다.

사 의

본 연구는 한국과학재단의 1983년도 후반기 연구지원에 의하여 수행된 연구의 일부이므로, 깊은 사의를 표하는 바이다.

문 헌

- 이춘영, 김성곤 : 한국식품연구문헌 총람(2), 한국식품과학회, p.33 (1977)
- 최홍식 : 식품과학, 12(3), 51 (1979)
- 김형수 : 식품과학, 14 (2), 4 (1981)
- 김형수, 이기열, 최이순 : 한국식품과학회지, 4, 77 (1972)
- 김용휘, 김형수 : 한국식품과학회지, 6, 30 (1974)
- 김용휘, 김형수 : 한국식품과학회지, 8, 42 (1976)
- 윤계순, 강옥주, 김형수 : 한국농화학회지, 27, 79 (1984)
- 김오목, 김 관, 김성곤 : 한국식품과학회지, 17, 33 (1985)
- 최홍식, H.E. 스나이더, 권태완 : 한국식품과학회지, 7, 85 (1975)
- Horiuchi, H. and Tani, T. : *Agr. Biol. Chem.*, 30, 457 (1966)
- Yamamoto, K., Sawada, S. and Onogaki, T. : *Denpun Kagaku*, 20, 99 (1973)
- Association of Official Analytical Chemists : *Official Methods of Analysis*, 13th Edition, Washington, D.C. (1980)
- Wilson, L.A., Birmingham, V.A., Moon, D.P. and Snyder, H.B. ; *Cereal Chem.*, 55, 661 (1978)
- Mc Cready, R.M. and Hassid, W.Z. ; *J. Am. Chem. Soc.*, 65, 1154 (1943)
- Montgomery, E.M. and Senti, F.R. ; *J. Polymer Sci.*, 28, 1 (1958)
- Collins, E.A, Haehn, J.B. and Wolff, I., ; *Computer Programms for Plastic Engineers*, Reinhold Book Co. p.349 (1963)
- Van Wazer, J.R., Lyons, J.W., Kim, K.Y. and Colwell R.E. ; *Viscosity and Flow Measurement*, Interscience Publishers, p.219 (1963)
- Huggins, M.L. : *J. Am. Chem. Soc.*, 64, 2716 (1942)
- Barotic, A. and Mork, H. ; *J. Am. Chem. Soc.*, 65, 1902 (1943)
- Elfak, A.M., Pass, G., Phillips, G.O. and Morley, R.G. ; *J. Sci. Food Agr.*, 28, 895 (1977)
- Elfak, A.M., Pass, G. and Phillips, G.O. ; *J. Sci. Food Agr.*, 29, 557 (1978)
- Longree, K., Beaver, S., Back, P. and Nowrey, J. E. ; *J. Agr. Food Chem.*, 14, 653 (1966)
- 이신영, 변유량, 조형용, 유주현, 이상규 : 한국식품과학회지, 16, 29 (1984)
- 박영희, 김성곤, 이신영, 김주봉 : 한국식품과학회지, 16, 314 (1984)

1985년 1월 15일 접수

는 수증기-공기 혼합계인 가압수냉식 전자동 레토르트 (Fujimori Kogyo Co.Ltd., model UHR 301)을 사용하였고, 가열중 시료중심과 레토르트본체내의 온도변화는 지름 0.3 mm의 구리-콘스탄탄 열전기쌍을 사용하여 점타식 평형자동온도 기록계 (Electro Coboratriet Co.Ltd., recorder type Z 9-CTF)로 측정, 기록하였다.

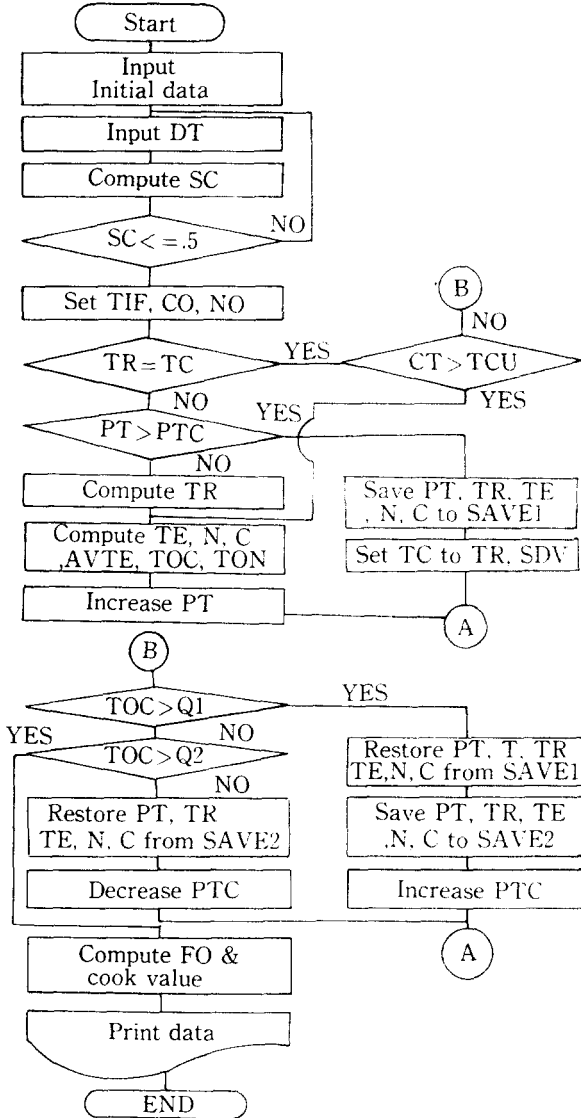
컴퓨터 simulation

컴퓨터 simulation은 Teixeira들⁽⁸⁾ 및 Manson들⁽⁹⁾의 방법을 기초로하고, 가열살균중 시료의 여러온도-시간 관계, 미생물농도 및 관능과 영양성분분포에 대한 프로그램을 두께를 변수로하여 작성한 후 (Fig. 1 참조),

소형컴퓨터 (Apple II plus)로 행하였다. 프로그램은 계산처리속도의 증가목적으로 기계어로 작성하였다. 즉 여러온도-시간관계의 컴퓨터계산은 무한 평판에 대한 3차원, 비정상상태의 전열이론식⁽¹⁰⁾에 대한 유한차근사식인 다음 식(1)을 사용하여 행하였다.

$$T_{i,j,k,n+1} = T_{i,j,k,n} + \alpha \Delta t (\Delta x^2 (T_{i,j,k,n}) + \Delta y^2 (T_{i,j,k,n}) + \Delta z^2 (T_{i,j,k,n}) \dots) \quad (1)$$

여기서 $T_{i,j,k,n} = [T_{i,j,k,n} - 2T_{i,j,k,n} + T_{i+1,j,k,n}] / \Delta x^2$ 이고 α 는 열확산도 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 는 포장재의 부피요소이며, 첨자 i,j,k,n 는 각각 가로, 세로, 두께 및 시간이다. 실제계산에서 α 값은 120°C의 열침투곡선으로부터 얻은 f_h 값을 사용하여 다음 식(2)에 의하여 구하였으며, ⁽⁹⁾ 수치해의 안정성은 각 시간구간 및 부피요소



- DV: volume increment
- AVTE: average temperature of all DV
- C: concentration of microbe at each DV
- CO: initial concentration of microbe
- CT: center temperature of rebort pouch
- DT: time increment
- N: concentration of nutrient at each DV
- NO: initial concentration of nutrient
- PT: process time
- PTC: predefined heating cut off time
- Q1: $CO \times E - 12$
- Q2: 0.1×8
- SAVE1 & SAVE2: temporary storage of data
- SC: stability criteria
- SDV: volume increment located kt surface
- TC: cooling water temperature
- TCU: cut off temperature
- TE: temperature of each DV
- TIF: initial retort pouch temperature
- TOC: average microbe concentration of all DV
- TON: average nutrient concentration of all DV
- TR: retort temperature

Fig. 1 Flowchart of program

Table 1. Heat resistance of temperature dependent parameters chosen for computer simulations

Parameters	Z-value	D-value	Reference temperature
Sterility level ⁽¹¹⁾	10°C	-	121.1°C
Nutrient retention(%) ⁽¹²⁾	25°C	-	121.1°C
Integrated cook value ^(13,14)	33°C	188min	100°C

기가 식(3)을 만족시키도록 하여 얻었다.

$$\alpha = 0.933/4 \left[\left(\frac{1}{X}\right)^2 + \left(\frac{1}{Y}\right)^2 + \left(\frac{1}{Z}\right)^2 \right] \cdot f_h \dots\dots(2)$$

$$\frac{\alpha \Delta t}{\Delta x^2} + \frac{\alpha \Delta t}{\Delta y^2} + \frac{\alpha \Delta t}{\Delta z^2} < \frac{1}{2} \dots\dots(3)$$

여기서 x, y, z는 각각 가로, 세로 및 두께이다.

아울러 표면온도는 표면에서의 열전달이 무시된다고 가정하여 레토르트온도와 같다고 보고 결정하였다. 한편 여러온도-시간에 따른 미생물 및 영양성분농도는 미생물의 사멸 또는 영양성분의 파괴를 나타내는 속도식^(11,12)인 식(4)를 사용하여 산출하였다.

$$C = C_0 \exp(-\Delta t/D) \dots\dots(4)$$

여기서 C 및 C₀는 임의시간 및 초기시간에서의 미생물 또는 영양성분의 농도이며, D는 식(5)에서와 같이 온도의존성을 갖는 D값(Decimal Reduction Time)이다.

$$D = D_0 \exp\left(\frac{T_0 - T}{z}\right) \dots\dots(5)$$

식(5)에서 D₀는 기준온도 T₀에서의 미생물 사멸속도 또는 영양성분의 파괴속도이며, z는 D값의 10배 변화에 따르는 온도차이다. 실제의 컴퓨터 simulation 과정에서는 미생물 사멸정도는 TRT₁₂(Thermal Reduction Time)를, 영양성분의 파괴정도는 Thiamine Retention(%)를 지표로 하였으며, 관능성분의 지표로서는 식(6)으로 정의되는 c-값(Integrated cook value)^(13,14)를 사용하여 구하였다.

$$C = \int_0^T 10^{(T-T_0)/z} dt \dots\dots(6)$$

한편 컴퓨터 simulation은 식(1)~(6)의 온도의존성 변수값으로 Table 1의 값을 사용하고, 프로그램의

입력조건으로 제품초기 온도 24°C, 레토르트초기온도 48°C, 냉각수온도 20°C, 살균온도 110~150°C, 살균시간 0~60분 시료크기 110~140×105×5~24 mm, come up time 5분 이내, 열확산도 0.052 cm²/min의 값을 사용하여 행하였다.

결과 및 고찰

미반의 전열특성

여러가지 두께(15, 20, 25 mm)의 레토르트 미반을 120°C에서 가열살균하고 전열특성값을 구한 결과는 Table 2와 같다. 지연계수 j_h값은 1.11~1.16으로 전도가열의 특성을 나타내었다. 또 가열구배 f_h값은 시료두께가 두꺼워짐에 따라 12~16분으로 증가하고 빠른 전열특성을 나타내었으며, 레토르트미반의 전형적인 값과 잘 일치하였다. ⁽⁵⁾한편 f_h값으로부터 식(2)로 구한 열확산도 α 값은 0.052 cm²/min이었으며, 다른 식품과 비교하여 비교적 낮은값을 보였다. ⁽²⁾이 α 값을 이용하여 120°C에서의 미반의 중심온도-시간관계를 simulation하였으며, 이를 실측한 가열곡선과 함께 나타낸 결과는 Fig. 2와 같다. 컴퓨터로 계산한 가열곡선은 실측한 가열곡선과 여러 시료두께에서 잘 일치하였다. 이는 프로그램의 정확성을 입증하는 사실이며, 따라서 본 컴퓨터 프로그램은 레토르트식품의 가열살균실험에서 적정살균조건(온도-시간관계)의 simulation에 사용할 수 있음을 알수 있다.

미생물의 사멸율

여러온도(110~150°C)에서의 가열살균중 동일미생물 농도까지 감소시키는 데 요하는 가열시간(TRT 12 또는 12 D에 요하는 시간)을 시료두께(5~24 mm)를 달리하여 simulation하였으며, 그 결과는 Fig. 3과 같다. 온도-시간관계는 시료위치에 상관없이 가열온도가 증가에 따라 12 D에 요하는 가열시간이 지수적으로 감소하고 보고된 사실과 잘 일치하였으며, ^(10,11)표면에 가까울수록 가열시간은 짧아지는 경향이었다. 한편 표면온도-시간관계는 표면에서의 열전달은 무시된다고

Table 2. Results from heat penetration tests on cooked rice packed in retort pouch

Wet weight (g)	Package size		Temperature		Parameters		
	Length × width (mm)	Thickness (mm)	TR (°C)	T _i (°C)	j _h (-)	f _h (min)	Thermal diffusivity, a (cm ² /min)
200	140 × 105	15	120	20	1.16	12.0	
200	120 × 105	20	120	24	1.11	14.5	0.052
200	110 × 105	25	120	20	1.15	16.0	

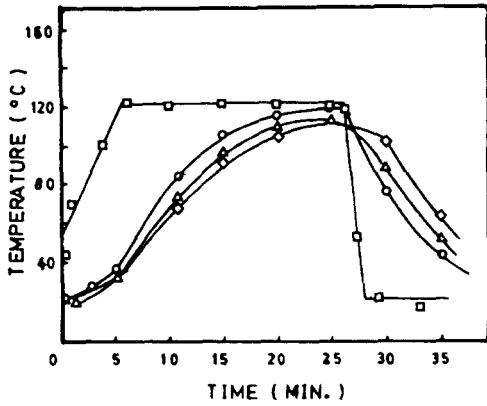


Fig. 2 Simulated and measured temperature profiles on the retort and at cooked rice packed in retort pouch of different thickness

□ — □ Retort or surface
 ○ — ○ Retort pouch rice (15 mm)
 △ — △ Report pouch rice (20 mm)
 ◇ — ◇ Report pouch rice (25 mm)
 Symbols are measured temperature and the lines are simulated temperature.

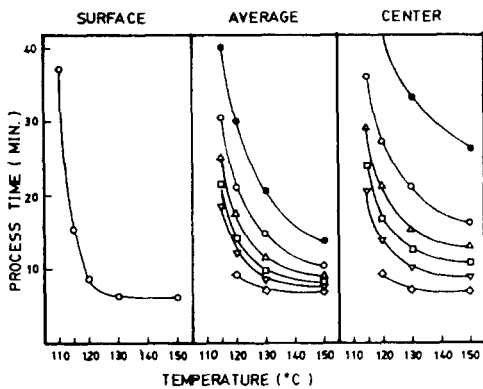


Fig. 3 Calculated temperature vs. process time relationship for equivalent lethality (12 D process) as a parameter of thickness

◇ — ◇ 5 mm ▽ — ▽ 10 mm
 □ — □ 12 mm △ — △ 15 mm
 ○ — ○ 18 mm ● — ● 24 mm

가정하였으므로 시료두께의 영향은 나타나지 않았다. 그러나 평균 및 중심온도-시간관계에서는 시료두께의 영향을 크게 받아서 두께가 두꺼워 질수록 가열시간이 길어졌으며, 고온일수록 그 경향은 더욱 뚜렷하였다. 이와같은 사실은 고온일수록 단시간살균이 가능하나 시료두께의 영향이 매우 중요하며, 표면에서는 과열의 위험성이 있음을 잘 반영하는 사실이라 볼 수 있다.

관능적 품질 및 영양성분의 보유율

관능적 품질보유의 척도로서 c-값을 도입하여^(13,14) Fig. 3 과같은 가열조건하에서 즉, 12 D의 미생물학적 안전성을 유지할 때 c-값의 변화를 simulation 하였으며, 그 결과를 Fig. 4 에 나타내었다. c-값이 적을 수록 가열살균중 관능적품질의 저하가 적은 것을 의미하므로^(13,14) 시료중심에서의 품질열화는 고온일수록 그리고 두께가 얇을 수록 적음을 알 수 있다. 그러나 이와 동반하여 시료표면에서는 두께가 두꺼워지면 고온에서 c-값이 급속히 증가하고 과열에 의한 품질손실이 가속화됨을 보였다. 미반의 경우 평균적으로 두께가 10 mm 이상이되면 이와같은 현상이 뚜렷한 것으로 볼 수 있다. 한편 thiamine을 영양성분지표로하여⁽¹²⁾ thiamine retention을 검토한 결과에서도 Fig. 5 에서 보는 바와

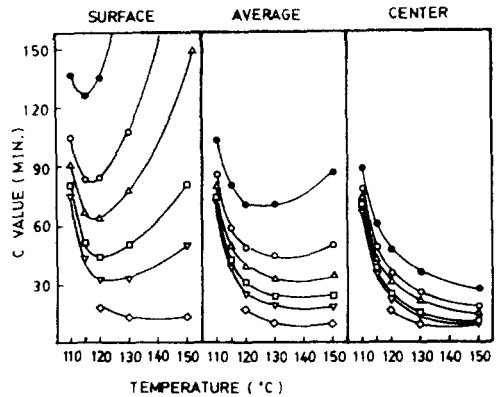


Fig. 4 Surface, average and center cook-value calculated with z-value of 33°C at different temperatures as a parameter of thickness

◇ — ◇ 5 mm ▽ — ▽ 10 mm
 □ — □ 12 mm △ — △ 15 mm
 ○ — ○ 18 mm ● — ● 24 mm

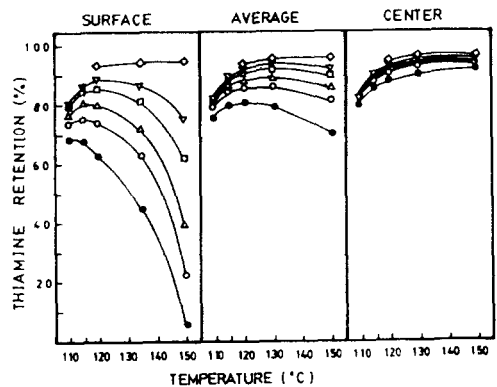


Fig 5. Calculated thiamine retention (%) at different temperatures as a parameter of thickness

◇ — ◇ 5 mm ▽ — ▽ 10 mm
 □ — □ 12 mm △ — △ 15 mm
 ○ — ○ 18 mm ● — ● 24 mm

같이 관능적품질저하경향과 비슷한 경향을 볼 수 있었다. 즉, 중심에서의 thiamine retention(%)은 고온일수록 그리고 두께가 얇을수록 우수하였으나 두께가 어느이상이면 고온일수록 영양성분의 파괴율도 급속히 증가하였다. 역시 thiamine retention(%)도 평균적으로 시료두께 10 mm이하에서 고온살균의 우수성을 나타내었다. 가열살균은 미생물학적 안전성을 유지하면서 품질의 손실을 최소화하는 조건으로 행해지므로, 이는 열전도율이 낮은 고체식품의 경우라도 두께를 충분히 얇게하면 HTST살균이 가능함을 보여주는 사실이라 볼 수있다. 지금까지 HTST살균은 고온인 경우, 표면에서의 품질열화속도의 가속화로 열전달이 빠른 액체식품에만 적용되어 왔었다.

요 약

두께가 서로 다른(5~24 mm) 락토르트 미반에 대하여 여러온도(110~150°C)에서 최적품질보유가 가능한 고온살균조건을 컴퓨터 simulation에 의하여 구하였다. 최적조건은 12 D의 미생물학적 안전성을 유지할 때 최소의 c-값과 최대의 thiamine retention을 갖는 조건에 의하여 선정하였다. 계산결과는 고온일수록 시료두께의 영향이매우 중요함을 보이면서 미반고온살균의 우수한 품질보유는 두께 10 mm이하에서 나타났다.

문 헌

1. 山口尹通 : *New Food Industry*, 17, 46 (1975)
2. 山口尹通 : *食品工業*, 6月下, 22 (1978)
3. Stenström, L.: *Activities Report of the R & D Associates*, 34, 55 (1982)
4. Ohlsson, T.: *J.Food Sci.*, 45, 848 (1980)
5. 이신영, 이상규, 변유량, 유주현, 한병근 : 한국식품과학회지, 13, 153 (1981)
6. 변유량, 신승규, 김주봉, 조은경 : 한국식품과학회지, 15, 414 (1983)
7. Persson, T and von Sydow, E.: *J.Food Sci.*, 39, 406 (1974)
8. Teixeira, A.A., Dixon, J.M., Zahradnik, J.W. and Zinsmeister, G.E.: *Food Technol.*, 23, 137 (1969)
9. Manson, J.E., Zahradnik, J.W. and Stumbo, C.R.: *Food Technol.*, 24, 109 (1970)
10. 野中順三九 : 缶詰殺菌の理論と實際, 丸星社厚生閣, 東京 (1963)
11. Ball, C.O. and Olson, F.C.W.: *Sterilization in Food Technology*, McGraw Hill Book, Co., New York (1957)
12. Farrer, K.T.H.: *Adv. Fd. Res.*, 6, 257 (1955)
13. Everson, G.J., Change, J., Sherman, L., Luh, B.S. and Simone, M.: *Food Technol.*, 18, 84 (1964)
14. Lund, O.B.: *Food Technol.*, 31, 71 (1977)

1985년 1월 15일 접수