

Pilot Scale 김치瞬間殺菌裝置에서의 殺菌效果分析 및 Simulation

吉洸勳 · 金恭煥 · 全在根
서울대학교 農科大學 食品工學科
(1984년 2월 10일 수리)

Thermal Process Evaluation and Simulation in a Pilot Scale *Kimchi* Pasteurizer

Gwang-Hoon Gil, Kong-Hwan Kim and Jae-Kun Chun
Department of Food Science and Technology, College of
Agriculture, Seoul National University, Suweon, Korea

Abstract

Lethal effect on *Chinese radish Kimchi* was investigated by using a pilot scale *Kimchi* pasteurizer. A simulation model was presented so as to predict the change in viable cell concentration of the *Kimchi* during pasteurization. D values of microorganisms in the *Kimchi* were found to be 2.21, 1.62, 0.73, 0.39 and 0.21min at 60, 64, 70, 75 and 80°C, correspondingly, and thereby z value was 19°C. One cycle time required was 0.99min at flow rate of 4 l/min. The ratio of lethality in preheating section to total lethality was 0.3 and the ratio of lethality in holding, precooling and cooling sections to total lethality was 0.7. The experimental data were in good agreement with the values simulated by two model equations to which linear and exponential temperature profiles were applied at 65°C and 70°C in holding section.

序 論

韓國人の 대표적인 食品인 김치는 주로 家庭에서 自家供給되고 있으나 최근 産業化로 인한 食生活向上 및 都市生活化現狀은 김치의 工業的 生産의 必要性을 增大시키고 있다. 그러나 김치 고유의 酸敗現狀으로 인해 企業的 規模의 김치 生産이 어려운 實情이다.

현재까지 김치의 酸敗防止를 위한 여러가지 研究가 報告되고 있으나 아직 實用化하기엔 미흡한 實情으로 工業的 김치生産에 이용할 수 있는 効果的인 酸敗防止法이 絶실히 要求되고 있다. 李 등⁽¹⁾은 김치로부터 김치液만을 分離하여 加熱殺菌處理한후 다시 固形物과 再混合하는 김치瞬間殺菌方法을 試圖하여 김치의 貯藏期間을 약 20~30日間 延長시키는 效果를 거두었다. 金 등⁽²⁾은 이같은 殺菌方法을 利用하여 pilot scale 連速式

김치瞬間殺菌裝置를 設計·製作하여 무우김치를 試料로한 裝置의 性能實驗을 실시하였다. 그결과 殺菌效果 및 作動時 發生되는 問題點등을 報告하였으며 工業的 김치生産에 液分離·瞬間殺菌方法의 適用可能性을 提示하였다. 그러나 本方法을 實用化하기 위해서는 殺菌裝置에 대한 工學的 分析과 殺菌效果에 대한 定量的인 研究가 필요하다.

현재까지 알려진 殺菌效果 評價方法을 보면 殺菌後 微生物의 生育如否를 實測하는 實驗의 方法과 微生物의 耐熱性 資料를 利用하여 殺菌效果를 算出하는 數學的 方法으로 나누어 볼 수 있는데 前者는 많은 努力과 時間이 所要되므로 잘 이용되고 있지 않다. 따라서 後者의 數學的 方法이 주로 사용되고 있다.

耐熱性測定에 의한 實驗의 方法으로는 Bigelow와 Esty의 TDT tube法⁽³⁾, American Can Co.의 TDT can法⁽⁴⁾, Thermoregistermeter法⁽⁵⁾, Stern 등이 개발한 裝置⁽⁶⁾ 등이 알려져 있다. 한편 Pflug 등⁽⁷⁾은 特定溫度 범위에서 熱特性分析에 이용할 수 있는 裝置를 考案하였고 Hayagawa⁽⁸⁾는 熱에 강한 微生物 또는 物質의 熱特性을 구할 수 있는 方法을 提示하였다.

이와같은 方法들에 의해 얻어진 耐熱性資料를 이용해 殺菌效果를 評價하는 數學的 方法으로는 많은 研究^(3,9-22)가 報告되어 있다.

以上の 殺菌效果評價方法의 대부분이 固體食品 즉, 통조림의 加熱殺菌時 適用되어지는데 비해 Deindoerfer와 Humphrey^(23,24)는 管内를 흐르는 液體가 亂流를 형성할 경우 管内의 溫度分布가 均一하다는 假定下에 여러가지 熱交換器를 사용하여 液體食品을 加熱殺菌할 때 얻어지는 殺菌效果評價方法을 提示하였으며, Aiba⁽²⁵⁾, Leniger와 Beverloo⁽²⁶⁾는 層流일 경우 殺菌效果評價方法을 提示하였다. Charm⁽²⁷⁾은 管内의 溫度分布가 殺菌部에서의 殺菌效果에 영향을 미치며 殺菌部 통과시 時間이 경과함에 따라 殺菌效果가 蓄積된다고 하였으며, Chen과 Zahradnik⁽²⁸⁾는 管内에서의 Residence time distribution 概念을 導入하였다. 最近에는 computer를 이용하여 殺菌效果를 보다 正確하고 손쉽게 계산하는 方法⁽²⁹⁻³²⁾들이 報告되고 있는데 Teixeira⁽³⁴⁾ 등은 殺菌工程중 微生物의 死滅效果 및 Thaimine의 破壞를 동시에 豫測할 수 있는 Numerical computer model을 開發하였다. 그러나 이러한 殺菌效果評價方法들이 모든 食品 및 裝置에 均일하게 適用되는 것이 아니므로

食品의 種類 및 裝置에 따라 適用可能한 方法을 選擇 또는 開發하여야 한다. 따라서 液分離·瞬間殺菌方法으로 殺菌할 때의 殺菌效果를 分析하기 위해서는 김치의 種類, 김치內 微生物의 耐熱性, 殺菌溫度 및 管内의 流速등에 대한 分析이 요구되며, 우선 殺菌기작을 나타낼 수 있는 Model을 設定하고 이를 數式化할 수 있는 Model equation을 提示할 必要가 있다. 이 Model equation은 菌의 熱死滅法則이 適用되어야 하며 殺菌效果를 보이는 各部의 溫度變化와의 關係로 糾明되어야 한다. 또 殺菌된 김치液은 김치容器속의 殺菌處理를 받지 않은 김치液과 固形分중에 잔류하는 菌의 濃도에 영향을 미치게 되므로 殺菌效果와 混合效果를 결합한 형태의 Model equation을 確立 適用하여야 한다. 한편 김치중에는 여러가지 微生物이 상이한 比率로 存在하므로 殺菌效果를 分析하기 위해 어느 특정 單一菌에 耐熱性資料를 適用시키는 것은 問題가 있다. 따라서 耐熱性資料도 김치細菌群에 適用될 수 있도록 檢討되어야 한다.

本 研究에서는 液分離·瞬間殺菌方法의 殺菌效果分析에 適用될 수 있는 Model을 設定하고 이 Model equation의 妥當性을 檢定하기 위해 실제 얻어진 實驗値와 同一條件下에서 simulation 한 結果를 比較分析하여 김치瞬間殺菌方法의 實用化可能性을 提示하고자 하였다.

材料 및 方法

殺菌試料의 造製

市中에서 구입한 무우를 1cm³ 크기의 정육면체로 자른후 3.3kg을 취하고 여기에 3% 소금물 10%를 가하여 무우김치를 담금하였다. 담금한 김치는 2~3日間 室溫에 放置하여 pH 4.5정도로 熟成시킨 다음 이를 김치 殺菌實驗의 試料로 使用하였다.

殺菌裝置의 構造

殺菌裝置는 김치容器內의 김치試料로부터 김치液만을 濾過·分離하여 瞬間加熱殺菌하고 冷却過程을 거쳐 殺菌前 김치液의 溫度로 冷却시킨 다음 容器內 殘溜 固形分과 再混合하는 과정이 連速的으로 反復되도록 製作되었는데 그 構造 및 熱交換器의 規格은 金등⁽²⁾의 것과 同一하였다.

D값 및 z값 測定方法

김치內 微生物에 대한 耐熱性試驗에는 flask 法⁽³⁶⁾을 使用하여 加熱溫度 60, 64, 70, 75, 80°C에서 各各의 D값을 測定하였으며 이로부터 z 값을 구하였다. 다음 Fig. 1은 D값을 測定하는데 使用한 裝置의 構造로서 김치液의 組成과 유사한 3% 소금물 199ml를 反應 flask에 넣고 加熱하여 加熱溫度에 도달하였을 때 김치液 1ml를 넣은후 일정 시간 간격으로 2ml의 液을 취해 急冷시킨후 生菌數를 測定하였다.

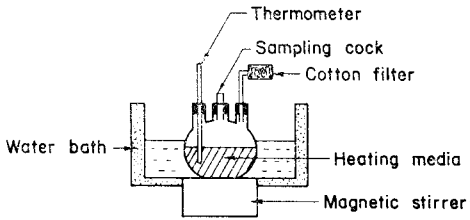


Fig. 1. Apparatus for determination of D value

生菌數 測定方法

標準平板培養法⁽³⁶⁾에 準하여 生菌數를 測定하였으며 生育培地로는 乳酸菌選擇培地인 MRS agar 培地⁽³⁷⁾에 0.01% sodium azide를 添加하여 121°C에서 15分間 加壓殺菌한후 사용하였다. 生菌數는 36~48時間 重層培養한후 colony counter로 測定하였다.

殺菌裝置稼動중 殺菌效果測定

무우김치 殺菌時 裝置稼動時間에 따른 殺菌效果를 測定하기 위해 裝置의 세지점에서 混合後 殺菌處理를 받기 前의 김치液, 豫熱部 통과후의 김치液, 殺菌·豫冷 및 冷却部 통과후의 김치液를 注射器바늘을 管内에 插入하여 5ml씩 試料를 채취하였다. 試料는 장치가동후 每 5分간격으로 殺菌이 終了될때까지 채취하여 急冷시킨후 生菌數를 測定하였다.

김치瞬間殺菌工程의 Model equation

Pilot scale 김치瞬間殺菌裝置의 殺菌效果를 分析키 위해 殺菌工程중 일어나는 連速의인 殺菌 및 混合工程을 한 cycle을 單位로 해서 다음 Fig. 2와 같은 體系로 나타내었다.

殺菌工程중 김치液이 管内를 통과하는 동안 加

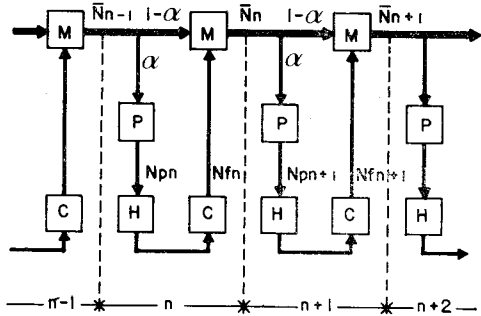


Fig. 2. Graphical representation of Kimchi pasteurization process consisting of n cycles

- P : preheating section,
- H : holding section
- C : cooling section,
- M : mixing reservoir

熱(H) 또는 冷却(C)되면서 殺菌效果를 나타내는데 이는 殺菌部외에 豫熱部 및 冷却部 등에서도 얻어질 수 있으며 各部를 통과하는 김치液의 溫度變化와 密接한 關係가 있다. 이와같이 殺菌된 김치液이 다시 김치容器속으로 들어갈때 混合(M)에 의해 잔류해 있던 김치液 및 固形分중의 菌濃度를 稀釋하는 效果를 기대할 수 있다. 따라서 本 殺菌方式에 적용될 Model equation은 管内에서의 熱死減效果(Thermal processing effect)와 김치容器內에서의 菌濃度稀釋效果(Mixing effect)를 나타낼 수 있는 二要素의 結合으로 構成되어야 한다.

1) 管内의 熱處理工程에서의 殺菌公式

一般的으로 微生物의 死滅은 一次反應式을 따르므로 다음과 같은 熱死減式이 適用된다⁽²⁵⁾.

$$\frac{dN}{dt} = -kt \tag{1}$$

여기서

$$k = \frac{2.303}{D} \tag{2}$$

溫度와 D값의 關係는 다음 式으로 나타낼 수 있다⁽³⁾.

$$\log D = -\frac{T}{z} - \log C \tag{3}$$

또는

$$D = \frac{1}{C} \exp\left(1 - \frac{2.303T}{z}\right) \tag{4}$$

(2)와 (4)式으로부터

$$k = 2.303 \cdot C \cdot \exp\left(\frac{2.303T}{z}\right) \tag{5}$$

(5)式에서 管内를 통과하는 김치液의 溫度는 時間의 函數로 表示되는데 時間에 대한 直線의 關係(linear temperature profile)와 指數的 關係(exponential temperature profile)가 있어 다음 式과 같이 나타낼 수 있다⁽²³⁾.

Linear temperature profile의 경우

$$T = T_0 + s \cdot t \quad (6)$$

Exponential temperature profile의 경우

$$T = a + b \exp(-K \cdot t) \quad (7)$$

여기에 殺菌效果, ∇ 를 導入하면 (1)式으로부터 다음 (8)式을 얻을 수 있다.

$$\nabla = \log \frac{N_0}{N} = \int_1^{t_2} k dt \quad (8)$$

따라서 殺菌效果, ∇ 를 時間의 函數로 두가지 temperature profile에 대해서 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

A) Linear temperature profile일 경우

(5), (6)式을 (8)式에 代入하여 積分하면 殺菌效果, ∇ 는 다음과 같다.

$$\nabla = \frac{C \cdot z}{s} \exp\left(\frac{2 \cdot 303 T_0}{z}\right) \left\{ \exp\left(\frac{2 \cdot 303 t_2}{z}\right) - \exp\left(\frac{2 \cdot 303 t_1}{z}\right) \right\} \quad (9)$$

B) Exponential temperature profile일 경우

(5), (7)式을 (8)式에 代入하여 積分하면 殺菌效果, ∇ 는 다음과 같다.

$$\nabla = \frac{2 \cdot 303 \cdot C \cdot \exp\left(\frac{2 \cdot 303 a}{z}\right)}{K} \left[Ei\left(\frac{2 \cdot 303 b}{z}\right) - Ei\left(\frac{2 \cdot 303 b}{z} e^{-Kt}\right) \right] \quad (10)$$

여기서 $Ei(x)$ 는 exponential integral function으로 다음 式과 같이 定義된다⁽³⁸⁾.

$$Ei(x) = \int_{-\infty}^x \frac{e^t}{t} dt \quad (11)$$

한편 殺菌工程중 殺菌效果는 殺菌部의 豫熱部, 豫冷部 및 冷却部에서도 얻어지므로 總殺菌效果는 다음 (12)式과 같이 나타낼 수 있다⁽²⁵⁾.

$$\nabla_{total} = \nabla_{heating} + \nabla_{holding} + \nabla_{precooling} + \nabla_{cooling} \quad (12)$$

따라서 한 cycle 통과한 김치液중의 菌濃度는 다음과 같다.

$$N = N_0 \exp(-\nabla_{total}) \quad (13)$$

(13)式은 김치液이 N_0 의 菌濃度로 殺菌裝置에 투입되어 1회 殺菌工程을 完了하였을 때의 菌濃度, N 과의 關係를 설명하고 있다.

2) 混合部에서의 混合效果

混合工程은 流入되는 液과 殘存하는 液과의 單순한 混合工程으로 內容物이 完全히 混合된다고 가정할 때 부피가 일정한 용기내에서의 混合·稀釋 Model을 따른다⁽³⁹⁾. 즉 Fig. 2와 같이 初期菌濃度, \bar{N}_{n-1} 인 김치液의 一定比(α)가 한 cycle 통과후 菌濃度 N_{fn} 으로 減少된후 다시 김치용기속으로 들어가 殘存해 있던 菌濃度 \bar{N}_{n-1} 인 김치液과 混合되어 菌濃度 \bar{N}_n 인 김치液이 되어 다음 cycle로 進行된다. 따라서 混合部에서의 混合效果는 다음 (14)式과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{N}_n = (1-\alpha)\bar{N}_{n-1} + \alpha N_{fn} \quad (14)$$

3) Computer simulation program

앞에서 誘導한 두개의 Model equation ((9), (10)式)과 混合部에서의 混合效果((14)式)를 利用하면 김치液分離·瞬間殺菌工程을 分析할 수 있다. 이를 위해 FORTRAN LANGUAGE로 simulation program을 作成하였다. 이의 流通圖는 Fig.3과 같다.

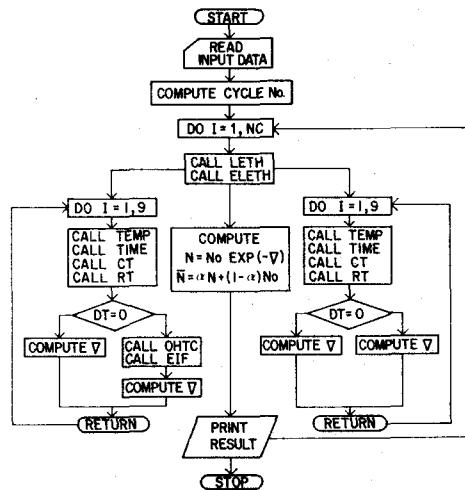


Fig 3. Flow chart of simulation program

Simulation program은 混合效果((14)式)를 계산하기 위한 main program과 殺菌效果((9), (10)式)을 계산하기 위한 두개의 subroutine LETH와 ELETH, 總括熱傳達係數를 算出하기 위한 subroutine OHTC, Exponential integral function((11)式)을 계산하기 위한 subroutine EIF, 各 部의 水槽 및 管内를 통과하는 김치液의 溫度變化를 나타내주는 function RT와 TEMP, 各 部에서의 殺菌時間 산출을 위한 function CT와 TIME등과 같은 subroutine program으로 구성되어 있다. rogram

의 入力資料로는 初期菌濃度, 김치量, z값, 各部의 溫度 및 溫度變化率, 裝置稼動時間 및 cycle數에 따른 菌濃度の 變化 및 各部에서의 殺菌効果 등이다.

結果 및 考察

D값 및 z값의 決定

김치와 같이 自然醱酵에 依存하는 醱酵食品의 경우 熟成에 關係하는 微生物의 種類가 多樣하고 이들의 flora가 熟成度에 따라 變化하는 特性을 지니고 있다(40). 이는 김치의 熟成度에 따라 그 속 에 存在하는 微生物의 種類와 數가 影響을 받는다는 것을 意味하므로 김치의 熟成度가 다른 死滅對象菌의 種類와 數가 다른 것이라는 것은 명백하다. 따라서 김치內 微生物에 對한 耐熱性試驗을 시행하기 위해서는 우선 김치의 熟成度를 控制할 必要가 있으므로 本 實驗에서는 무우김치가 高유의 味覺을 나타내는 pH 4.5부근의 김치液을 취하여 D값 및 z값을 決定하는 試料로 使用하였다. 이 김치液중의 微生物 死滅特性을 보면 Fig. 4와 같이 單一菌의 경우와는 달리 一次反應式으로부터 많이 벗어났다.

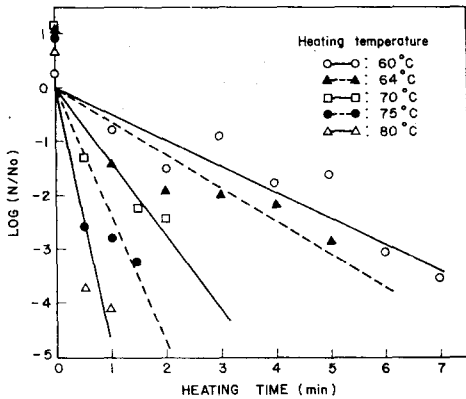


Fig. 4. Thermal destruction curve of microorganisms in Chinese radish Kimchi at various temperatures.

즉 初期에는 급격한 菌濃度の 減少를 보이다가 곧 완만한 減少를 나타내는데 이는 김치內에 存在하는 여러가지 微生物들의 耐熱性이 서로 다르기 때문인 것으로 생각되며 이와같은 현상은 Moats 등(41,42)의 報告에서도 발견할 수 있다.

이 實驗值들은 加熱時間 30秒를 基準으로 별개의 두개직선으로 나타낼 수 있는데 이같은 경우

두개의 D값이 存在하게되는 모순이 있다. 따라서 本 研究는 殺菌操作에 의해 김치內의 總菌數를 減少시키는데 目的이 있으므로 各 溫度에서의 實驗值로부터 最小自乘法에 의해 菌死滅曲線을 구하여 이 직선의 기울기로부터 各 溫度에서의 D값을 算出하였는데 그 結果 Table 1과 같았다.

Table 1. D values of microorganisms in Chinese radish Kimchi at various temperatures

Heating temperature(°C)	D value(min)
60	2.21
64	1.62
70	0.73
75	0.39
80	0.21

여기서 60°C에서의 D값이 2.21분이었는데 배추김치內에 存在하는 *Lactobacillus plantarum*의 60°C에서의 D값이 3분이라고 報告(43)된 것에 비해 약간 낮은 값을 보였다. 한편 各 溫度에서의 菌死滅曲線의 有意性 檢定結果 60°C의 경우 1% 有意水準에서, 65°C경우 5% 有意水準에서, 70°C 경우 10% 有意水準에서 有意성이 인정되었으나 75°C, 80°C의 경우 有意성이 없었다. 이와같은 現狀은 김치內에 存在하는 모든 菌의 D값이 일정하지 않기 때문에 發生하는 것으로 混合菌을 殺菌對象으로 하는 경우 排除할 수 없는 現狀인 것 같다. 한편 z값은 Fig. 5와 같은 log D값과 加熱溫度와의 關係로부터 最小自乘法에 의해 TDT曲

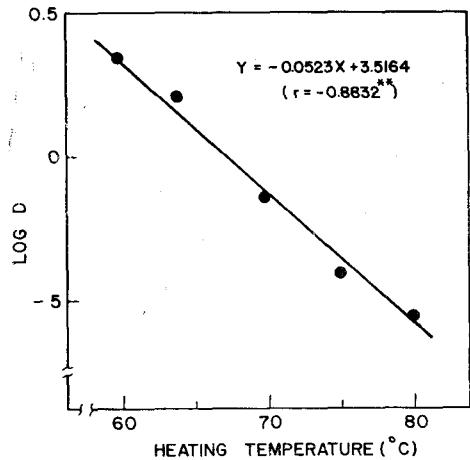


Fig 5. Thermal death time curve for microorganisms in Chinese radish Kimchi

線을 구하고 이 직선의 기울기로부터 z 값을 구하였는데 19°C 였다. 이때 TDT曲線の 相關係數(r)는 -0.8832 이며 $\log D$ 값의 偏差(σ_{yx})는 0.0699 로 有意性 檢定結果 1% 有意水準에서 有意性이 있었다. 따라서 앞서의 D 값 산출방식이 無理한 점이 없진 않았으나 비교적 妥當하였음을 立證해 주고 있다.

裝置의 殺菌效果分析

殺菌工程중 김치液이 管内를 통과하면서 各部에서 熱處理를 받게 되는데 이때 微生物의 死滅은 대부분 殺菌部에서 이루어지지만 豫熱部 및 豫冷部에서도 殺菌效果가 얻어진다. 따라서 장치가 동중 各部에서의 殺菌效果를 分析하기 위해 새개의 試料採取點에서 混合後 殺菌處理를 받기전의 김치液, 豫熱部 통과후의 김치液, 殺菌·豫冷 및 冷却部 통과후의 김치液을 각각 취한후 生菌數를 測定하여 豫熱部の 殺菌效果 및 殺菌·豫冷·冷却部에서의 殺菌效果를 比較하여 본 結果 Fig. 6과 같았다. 그 結果 豫熱部에서의 殺菌效果보다

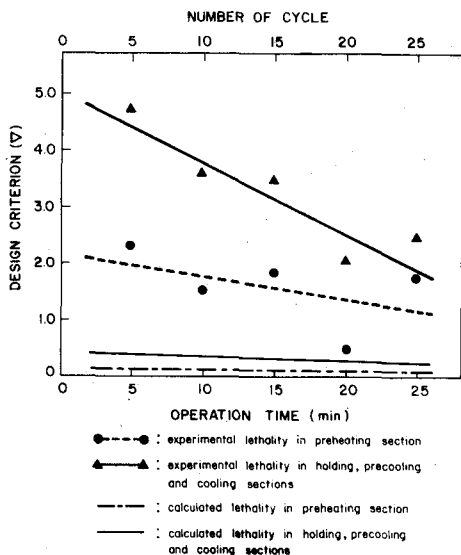


Fig. 6. Comparison of the experimental and calculated lethality in each section of Kimchi pasteurizer

殺菌·豫冷·冷却部에서의 殺菌效果가 두배이상 컸으며 각각 時間이 경과할수록 殺菌效果가 減少하는 경향이 나타났다. 또 이를 simulation model equation에 의한 計算値와 比較하여 볼 때 상당히 큰 差異를 보였다. 이같은 現狀은 첫째

앞에서의 김치內 微生物의 死滅曲線에서 볼 수 있듯이 殺菌初期에는 耐熱性이 약한 微生物이 대부분 死滅되고 時間이 경과할수록 비교적 耐熱性이 강한 微生物이 殘存하며, 둘째 殺菌處理를 받고 다시 김치容器속으로 들어가는 김치液이 잔류해 있던 김치液 및 固形분과 完全한 混合이 이루어지지 않은 상태에서 다시 殺菌裝置를 통과하거나, 셋째 裝置製作에 사용된 여러가지 管附屬에 의한 마찰로 인해 殺菌裝置 通過時間이 計算値보다 훨씬 길어졌으며, 그밖에 注射器의 바늘을 管内에 插入하여 試料를 채취할 때 그 採取部位의 差異 및 生菌數測定時의 誤差등에 기인하는 것으로 생각할 수 있다. 그러나 實驗値와 計算値간의 差異가 以上の 原因들로 설명하기에는 너무 크기 때문에 앞으로 이에 대한 研究가 보완되어야 하겠다. 한편 장치가 동중 各部에서의 殺菌效果가 차지하는 比率은 Fig. 7과 같이 比較의 一定하게

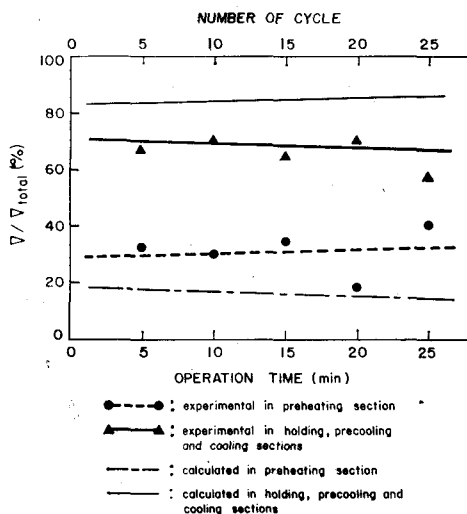


Fig. 7. Comparison of the ratio of experimental and calculated lethality in each section to total lethality

維持되었다. 豫熱部에서의 殺菌效果 比率이 實驗値가 약 30%로 計算値 18%보다 높았는데 이는 앞에서 言及한 바 있는 여러가지 原因들에 기인하는 것으로 생각된다.

Model equation의 simulation 結果

앞에서 誘導한 本 殺菌方式의 simulation model equation ((9), (10)式)의 妥當性을 檢定하기 위해 실제 實驗値와 同一條件下에서의 simulation에 의한 豫測値를 比較하여 본 結果 다음과 같았다.

Fig. 8은 殺菌部の 溫度가 70°C일때 裝置稼動時間에 따른 김치液중의 菌濃度의 變化를 본 것으로 實驗値와 두개의 Model equation에 의한 豫測値가 比較的 一致하였다. Fig. 9는 殺菌部の

등 殺菌條件을 決定하는데 有用하게 사용되어질 수 있을 것으로 사료된다.

要 約

Pilot scale 連速式 김치瞬間殺菌裝置를 사용한 무우김치殺菌時 殺菌效果를 分析하기위해 殺菌時間에 따른 生菌數의 變化를 測定하였으며 simulation model을 設定하여 김치內 生菌數의 減少를 豫測하고 실제 實驗値와 比較 分析함으로써 simulation model의 適用妥當性을 檢定하였다.

1. 김치熱成菌의 D값은 加熱溫度 60, 64, 70, 75, 80°C에서 各各 2.21, 1.62, 0.73, 0.32, 0.21分이었으며 z값은 19°C였다.

2. 김치試料를 4l/min의 流速으로 1 cycle 殺菌處理하는데 所要되는 時間은 0.99分으로 약 1分이 所要되었다.

3. 總殺菌效果에서 豫熱部에서의 殺菌效果가 차지하는 比率은 30%, 殺菌·豫冷·冷却部에서의 殺菌效果가 차지하는 比率은 70%이었다.

4. 殺菌部の 溫度가 65, 70°C일때 管内를 통과하는 김치液의 時間에 대한 直線的 溫度變化와 指數的 溫度變化로부터 誘導된 두개의 simulation model equation에 의한 豫測値와 실제 實驗値가 比較的 一致하였다.

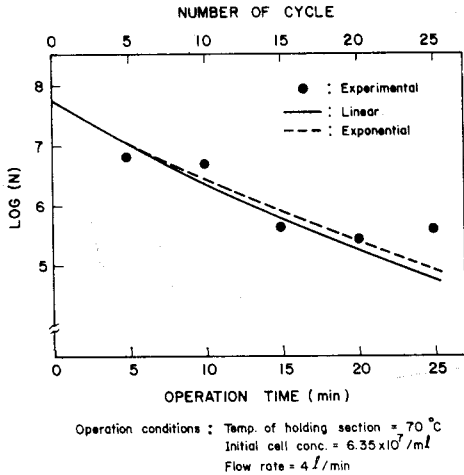


Fig. 8. Comparison of the experimental and predicted cell concentrations of *Kimchi* during pasteurization

溫度가 65°C일 때 simulation한 결과인데 70°C의 경우와 마찬가지로 實驗値와 比較的 一致하였다. 따라서 本 研究에서 提示한 simulation model

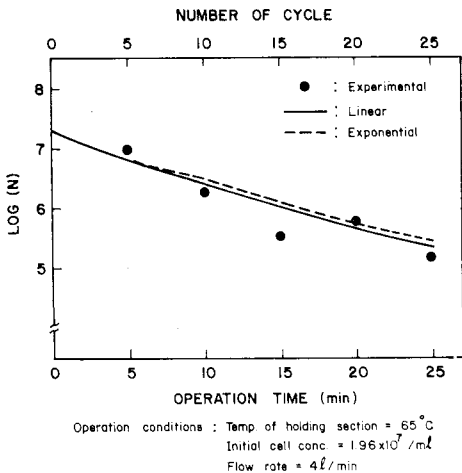


Fig. 9. Comparison of the experimental and predicted cell concentrations of *Kimchi* during pasteurization

은 殺菌工程중 裝置稼動時間에 따른 菌濃度의 減少를 豫測하는데 妥當性이 있음을 알 수 있으며 殺菌溫度, 流速, 김치量, 初期菌濃度, 殺菌時間

Nomenclature

- C : Empirical constant in equation (3)
- D : Thermal death time, min.
- K : Time parameter in equation (7), UA/WC_p, min⁻¹
- N₀ : Viable cell concentration at t=0, cell/ml
- N : Viable cell concentration at t=t, cell/ml
- N_p : Viable cell concentration of *Kimchi* after passing preheating section, cell/ml
- N_f : Viable cell concentration of *Kimchi* after passing holding, precooling and cooling sections, cell/ml
- N̄ : Viable cell concentration of *Kimchi* after mixing, cell/ml
- T : Temperature, °C
- T₀ : Initial temperature of *Kimchi*, °C
- T_H : Temperature of heat source, °C
- T_C : Temperature of heat sink, °C

- z : Constant related to slope of TDT curve, °C
 a : T_H or T_c
 b : $T_0 - T_H$ or $T_0 - T_c$
 k : Reaction rate constant, min^{-1}
 s : Slope of linear temperature profile, °C/min
 t : Time, min
 α : Cycling ratio
 ∇ : Design criterion

引 用 文 獻

- 李南辰, 全在根: 韓國農化學會誌, **24**, 213 (1981).
- 金恭煥, 吉洸勳, 全在根: 韓國食品科學會誌, **16**, 83(1984).
- Ball, C.O. and Olson, F.C.W.: *Sterilization in Food Technology*, McGraw-Hill Book Co., New York(1957).
- Lopez, A.: *A complete course in Canning*, 11th ed., A publication of the canning trade, Baltimore, Maryland, p.321(1981)
- Stumbo, C.R.: *Food Technol.*, **2**, 228(1948).
- Stern, J.A. and Proctor, B.E.: *Food Technol.*, **8**, 139(1954).
- Pflug, I.J. and Esselen, W.B.: *Food Technol.*, **7**, 237(1953).
- Hayagawa, K.: *Food Technol.*, **23**, 1090 (1969).
- Patashnik, M.: *Food Technol.*, **7**, 1(1953).
- Shultz, O.T. and Olson, F.C.W.: *Food Research*, **5**, 399(1940).
- Hayagawa, K.: *Food Technol.*, **22**, 905 (1968).
- Hicks, E.W.: *Food Research*, **23**, 396(1958)
- Pflug, I.J.: *Food Technol.*, **22**, 1153(1968).
- Jakobsen, F.: *Food Research*, **19**, 66(1954),
- Stumbo, C.R., and Longley, R.E.: *Food Technol.*, **20**, 341(1966).
- Dickerson, R.W. Jr.: *Food Technol.*, **23**, 382(1969).
- Dickerson, R.W. Jr.: *J. Food Sci.*, **36**, 386 (1971).
- Flambert, C.M.F., Deltour, J., Dickerson, R.W. and Hayagawa, K.: *J. Food Sci.*, **42**, 545(1977).
- Hayagawa, K.: *J. Food Sci.*, **39**, 849(1974).
- Hayagawa, K.: *Food Technol.*, **24**, 1407 (1970).
- Steele, R.J. and Board, P.W.: *J. Food Sci.*, **44**, 292(1979).
- Steele, R.J., Board, P.W., Best, D.J. and Willcox, M.E.: *J. Food Sci.*, **44**, 954(1979).
- Deindoerfer, F.H. and Humphrey, A.E.: *Appl. Microbiol.*, **7**, 256(1959).
- Deindoerfer, F.H. and Humphrey, A.E.: *Appl. Microbiol.*, **7**, 264(1959).
- Aiba, S., Humphrey, A.E. and Millis, N.F.: *Biochemical Engineering*, 2nd ed., University of Tokyo Press (1973)
- Leniger, H.A. and Beverloo, W.A.: *Food Process Engineering*, D. Reidel Publishing Company(1975).
- Charm, S.E.: *Fundamentals of Food Engineering*, 2nd ed., AVI, p.189(1971).
- Chen, A.C.Y. and Zahradnik, J.W.: *Trans ASAE*, **10**, 508(1967).
- Manson, J.E. and Cullen, J.F.: *J. Food Sci.*, **39**, 1048(1974).
- Timbers, G.E. and Hayagawa, K.: *Food Technol.*, **21**, 1069(1967).
- Teixeira, A.A., Stumbo, C.R. and Zahradnik, J.W.: *J. Food Sci.*, **40**, 653(1975).
- Tung, M.A. and Garland, T.D.: *J. Food Sci.*, **43**, 365(1978).
- Teixeira, A.A., Zinsmeister, G.E. and Zahradnik, J.W.: *J. Food Sci.*, **40**, 656(1975).
- Teixeira, A.A., Dixon, J.R., Zahradnik, J.W. and Zinsmeister, G.E.: *Food Technol.*, **23**, 845(1969).
- 朴榮浩, 朴有植: "통조림製造學", 螢雪出版社(1979).
- Marth, E.H.: *Standard methods for the examination of Dairy Product*, 14th ed., American Public Health Association, New York (1978).
- Harrigan, W.F. and McCance, M.E.: *Laboratory Methods in Food and Dairy Microbiology*, Academic Press, London, p.347(1976).
- Jahnke, E. and Emde, F.: *Tables of Functions*

- ions, 2nd ed. (1933).
39. Luyben, W.L.: *Process modeling, simulation and control for chemical engineers*, McGraw-Hill Book Co. (1973).
40. 金浩植, 全在根 : 原子力論文集, 6, 112(1966).
- 41) Moats, W.A.: *J. Bacteriol.*, **105**, 165(1971)
42. Moats, W.A., Dabbah, R. and Edwards, V.M.: *J. Food Sci.*, **36**, 523(1971).
43. 李春寧, 全在根, 金浩植 : 韓國農化學會誌. **10**. 33(1968).