

Pilot Scale 連速式 김치瞬間殺菌裝置의 設計 및 製作

金恭煥¹ · 吉洸勳 · 全在根

서울대학교 農科大學 食品工學科

Design and Fabrication of a Pilot Scale Continuous *Kimchi* Pasteurizer

Kong-Hwan Kim, Gwang-Hoon Gil and Jae-Kun Chun

Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Seoul
National University, Suweon, Korea

Abstract

In order to study the feasibility of industrial application of *Kimchi juice* separation-pasteurization method, a pilot scale *Kimchi* pasteurizer was designed and fabricated. The apparatus consisted of five sections: *Kimchi juice* separation-mixing, preheating, holding, precooling and cooling sections. Stainless steel pipe lengths required for the heat exchanging sections were determined based on an equation, $W C_p T = U(2 RL) T_{1m}$. Overall heat transfer coefficients in preheating, holding, precooling and cooling sections were 875, 1398, 2036, and 288 kcal/m²h°C at the flow rate of 4 l/min, respectively, and temperature profiles of each section were in good agreement with those predicted from design criteria. A preliminary test using Chinese radish *Kimchi* demonstrated that this method can effectively be used in commercial processing of *Kimchi*.

序 論

지난 수년간 각종 가정용 副食의 대규모 생산추세와 더불어 김치의 공업적 생산도 그 必要性이 크게 增大되어 多角적으로 試圖되고 있으나 김치 固有의 酸敗現狀으로 인해 長期貯藏이 어려워 김치 加工産業의 발달이 遲延되고 있다. 현재까지 김치의 酸敗防止를 위한 여러 가지 貯藏法들이 報告되고 있는데 이들은 冷蔵⁽¹⁾ 또는 冷凍方法,⁽²⁾ 加熱殺菌方法,⁽³⁾ 防腐劑處理方法⁽⁴⁾ 등으로 크게 나누어 볼 수 있다. 김치를 冷蔵 또는 冷凍하는 방법은 低溫貯藏施設에 소요되는 경비가 많이 들고 加熱處理時에는 김치組織이 상당한 熱傷害를 받으며 防腐劑를 사용할 경우 김치의 異臭 및 變色을 誘發시키거나 刺戟臭을 남기는 등 아직까지 酸敗防止의 效果의 方法이 開發 實用化되고 있지 못하다.

김치는 종류에 따라 정도의 차이는 있으나 液成分과 固形分으로 구성되어 있고 液이 많을 경우 상당량의 微

生物이 김치液중에 존재하므로⁽⁵⁾ 김치液만을 殺菌하여도 김치内の 菌濃度를 충분히 減少시킬 수가 있다.李 등은^(6,7) 이같은 사실을 김치의 殺菌原理로 이용하여 배추김치를 試料로 김치液만을 分離하여 瞬間殺菌處理한 후 殺菌된 김치液을 固形分과 再混合하는 殺菌方法에 관한 연구를 수행한 바 있다. 그 結果 배추김치内の 菌濃度를 현저히 減少시킬 수 있었으며 殺菌된 김치의 貯藏期間을 상당히 延長할 수 있었다. 특히 1回 殺菌時間을 늘리는 것보다 殺菌回數를 反復할수록 殺菌후 酸敗防止效果가 增加하였는데, 이는 連速式 瞬間殺菌裝置 開發의 必要性을 提示한 것이라고 할 수 있다. 따라서 上記 方法을 실제 공업적 김치生産에 活用할 수 있는지 與否를 조사하기 위하여 Pilot Scale의 連速式 김치瞬間殺菌裝置를 設計, 製作하여 이를 이용하여 그 可能性을 檢討코자 하였다. 本 研究에서는 그 殺菌裝置의 제작에 필요한 設計要素를 산출하고 특히 熱交換部의 設計基準 및 分離·混合部의 操作狀態등에 관한 일련의 實驗을 수행하였으며 제작된 殺菌裝置를 실제로 김치에

¹현주소 : 태국 AIT

적용하는 문제등을 考察하였다.

混合하는 分離 · 混合部와 김치液을 瞬間加熱하는 予熱 및 殺菌部, 그리고 加熱된 김치液을 冷却하는 予冷 및 冷却部로 구성되어 있다.

材料 및 方法

殺菌裝置 製作에 使用된 材料

連速式 김치殺菌裝置에 使用된 材料로는 市中에서 쉽게 구입할 수 있는 Stainless Steel 管 (ID=1.32cm, OD=1.72cm), Polyethylene hose (ID=1.78cm, OD=2.32 cm), 管附屬 (Angle, Elbow, Valve, Tee等), Plastic 水槽, 斷熱材 (Glass wool, Styroform), 펌프, 유속계 등을 사용하였으며 이들의 자세한 規格은 Table 1과 같다.

殺菌裝置의 基本構造

殺菌裝置는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 김치槽内の 試料로부터 김치液만을 濾過 · 分離后 다시 固形物과 再

殺菌裝置內 熱交換部の 設計基準

가) 各 部의 所內 熱交換管의 길이

予熱 · 殺菌 · 予冷 · 冷却部에서의 所要 Stainless steel 管의 길이(L)는 總括熱傳達係數(U)를 1,000Kcal/m²h²로 假定하고⁽¹⁾ 다음式(1)에 準하여⁽²⁾ 設計하였다.

$$WC_p\Delta T = U(2\pi RL)\Delta T_{lm} \tag{1}$$

W : mass flow rate of fluid, kg/min

C_p : specific heat of fluid, Kcal/kg²

U : overall heat transfer coefficient, Kcal/m²h²

R : radius of stainless steel pipe, cm

L : length of stainless steel pipe, cm

ΔT : temperature difference, ²

Table 1. Descriptions of the components of Kimchi pasteurizer

Components	Materials	Specifications	Other Remarks
Kimchi reservoir	Glass	Cylindrical Capacity : 20 litre	Sponge as filter medium installed at the outlet of Kimchi reservoir
Pump	Cast iron	Centrifugal pump Capacity : 18 l/min RPM : 3400 289 W, AC 110V	Modified its structure to minimize the liquid holding volume in pump
Heater	Stainless steel	Immersion heater 2kw, AC 110 V	10kw for preheating and 2kw for holding section with agitator
Cooler	Stainless steel	Immersion cooler Refrigerent : Freon Range : -23 ² to ambient	Agitator attached
Preheating section tank	Plastic	Ellipsoidal cylindrical Capacity : 100 litre	Insulated with 3 cm thick glass wool
Holding section tank	Plastic	Cylindrical Capacity : 20 litre	Insulated with 3 cm thick glass wool
Precooling section tank	Plastic	Ellipsoidal cylindrical Capacity : 100 litre	Overflowing water as cooling medium
Cooling section tank	Plastic	Ellipsoidal cylindrical Capacity : 100 litre	Insulated with 3cm thick glass cool
Heat exchanger	Stainless steel pipe	Helically coiled	
Connection tube	Polyethylene	Flexible hose	Used only for connection parts
Valve	Brass	Needle valve	
Thermocontroller		YSI electronic controller	Accuracy : ±0.1 ²
Thermometer		YSI thermister probe, Thermocouple	
Flow meter		Rotameter Range : 1.8 - 18 l/min	

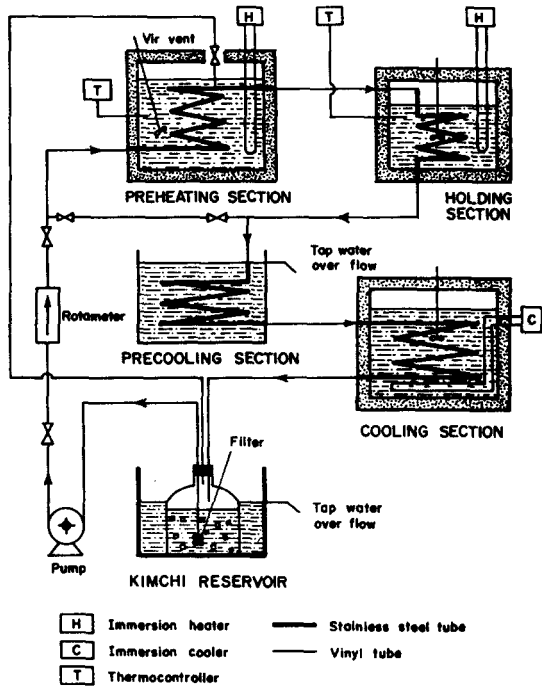


Fig. 1. Schematic diagram of continuous Kimchi pasteurizer

ΔT_{lm} : log mean temperature difference, °C

나) 殺菌裝置의 管内 流速設定

熱伝達率을 높이는 亂流(turbulent flow)를 形成시켜 주면서 펌프동 기준부품의 容量으로 처리할 수 있는 5 kg/min를 管内 김치液의 適正 處理物量으로 設定하였는데 이에 따른 Reynolds No.는 약 6,200이었다.

다) 熱交換部의 設計値

各 部의 設計溫度가 주어졌을때 上記의 設計基準을

적용하여 계산된 熱交換部의 設計値는 다음 Table 2와 같았다.

殺菌裝置 製作方法

김치液 分離·混合部, 予熱部, 殺菌部, 予冷部, 冷却部 등 熱交換과 관계있는 모든 部分은 김치液에 의한 管 腐蝕을 防止하기위해 stainless steel 管을 사용하였고 Table 2의 設計値에 의해서 실제 製作된 熱交換部의 規格은 다음 Table 3과 같았다.

가) 予熱部와 殺菌部

予熱部와 殺菌部는 stainless steel 管을 coil 形으로 加工하여 3cm 정도의 glass wool과 5cm 두께의 styroform으로 保温된 타원형 plastic 水槽(86L×66W×33H)와 원통형 plastic 水槽(42D×26H)에 各各, 設置하였다. 이들 各 水槽의 中央에는 electrical immersion heater(予熱部 10KW, 殺菌部 2KW)와 攪拌機를 裝置하였다.

나) 予冷部

加熱된 김치液을 40°C까지 予備冷却할 수 있도록 設計된 裝置로 plastic 水槽(86L×66W×33H)에 stainless steel 管으로 製作된 coil(Table 3)을 設置하였고 수도 물을 濕流시켜 溫度를 비교적 一定하게(20~23°C) 유지시켰다.

다) 冷却部

冷却部는 予冷된 김치液을 殺菌전 김치液의 溫度(20°C)로 冷却시킬 수 있도록 타원형 plastic 水槽(86L×66W×33H)에 stainless steel 管으로 製作된 coil(Table 3)을 設置하였다. 이때 coil形 immersion cooler를 담겨 水槽內 물을 冷却시켜주었으며 熱伝達을 돕기위해 중앙에 攪拌機를 設置하였다.

Table 2. Comparison of the designed and measured temperatures in each section of heat exchanger*

Section	Pipe length (cm)	Inlet (°C)	Outlet (°C)	Reservoir (°C)
Preheating	687	20 / 23	65 / 66	90 / 91
Holding	600	65 / 66	70 / 70	70 / 71
Precooling	531	70 / 70	40 / 33.5	20 / 25
Cooling	566	40 / 33.5	20 / 22	5 / 3.5

*designed temperature/measured temperature

Table 3. Specifications of experimental heat exchanger

Specifications	Preheating section	Holding section	Precooling section	Cooling section
Stainless steel pipe length*	650 cm	570 cm	505cm 55cm	515 cm
Coil diameter	35 cm	25 cm		55 cm
Pitch	2 cm	0.5 cm	3cm	3 cm
No. of turns	6	7.5 cm	3	3

* diameter: ID 1.32 cm, OD 1.72 cm

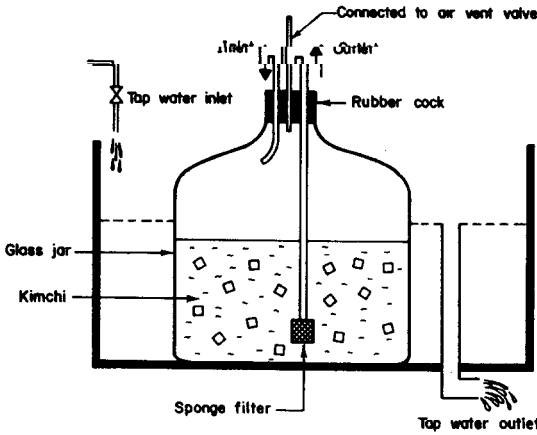


Fig. 2. Schematic diagram of Kimchi separation-mixing section

라. 김치액 분리·혼합부

김치액 주입관 및 흡입관과予熱部の air vent valve와 연결된 管이 裝置된 고무마개를 Fig. 2와 같이 20ℓ들이 김치槽에 연결하여 液分離·混合部를 구성하였다. 이때 흡입관의 끝에 sponge filter를 부착해 김치액이 固形物로부터 쉽게 分離되도록 하였다. 주입되는 김치액과 김치槽속에 잔류해있던 김치액 및 固形物을 効果的으로 混合시키기위해 흡입구가 김치槽의 바닥으로부터 약 3cm가량 떨어져 있게하고 주입구에서 流入되는 殺菌된 김치액은 용기벽을 따라 흘러내리게 하기위해 주입구의 方向이 벽쪽을 향하게 設置하였다. 한편 김치槽内の 김치溫度를 一定(20℃)하게 유지시켜주기 위해 一定水位로 수도물을 溢流시키도록 제작된 塔원형 plastic水槽(86L×66WX33H)에 김치槽를 靜置시켰다.

以上과 같이 製作된 各部를 polyethylene hose(ID=1.78cm, OD=2.32cm)로 연결하여 pilot scale 連速式 김치瞬間殺菌裝置를 完成하였다.

殺菌裝置의 稼動方法

裝置內 各水槽에 물을 채우고 immersion heater 및 cooler를 사용하여 各部의 溫度가 所定溫度에 到達케

한다음 一定量의 김치가 담긴 김치槽를 裝置의 分離·混合部에 연결하였다. 裝置稼動과 同時에 valve를 조절하여 김치액의 流速을 一定하게 維持시켰다. 固形物로부터 分離된 김치액은 予熱·殺菌·予冷 및 冷却部の 管内를 차례로 통과하면서 加熱 및 冷却處理를 받은후 다시 分離·混合部로 回收되어 잔류해있던 固形物 및 김치액과 混合되었다. 一定時間후 裝置의 稼動을 中止하였을때 予熱部 上端에 設置된 air vent valve를 열어 管内에 남아있는 김치액을 回收하였다. 이때 予熱部の 管内에 있는 加熱狀態의 김치액이 김치槽속으로 직접 逆流되는것을 防止하기위해 Fig. 1과 같이 流速計와 予熱部 사이에 valve를 設置하여 予冷部 및 冷却部를 거쳐 김치槽로 들어가게 하였다. 모든 殺菌操作이 끝난후에는 수도물을 5分정도 통과시켜 管内를 세척하였다.

結果 및 考察

液循環實驗

무우김치액의 物性は 물과 類似하므로 물을 사용하여 本研究에서 製作한 pilot scale 連速式 김치瞬間殺菌裝置의 液循環實驗을 실시한 結果 流速 4ℓ/min일때 1회 통과시간이 약 1分으로 계산치인 0.99분과 거의 一致하였다. 裝置製作時 많은 管附屬이 사용되었는데 이들이 管内의 流體의 흐름에 影響을 미칠것으로 생각되어 流速計와 needle valve의 중간지점에서 注射器를 검정잉크를 管内에 주입시켜 裝置의 출구로 나오는 잉크의 濃度를 조사한 結果 2~3秒 동안에 대부분의 주입잉크가 흘러나왔다. 따라서 管附屬들이 管内의 流體의 흐름에 크게 影響을 미치지 않음을 알 수 있었다. 한편 流速 18ℓ/min로 裝置를 稼動 15分 후 펌프의 性能低下로 인해 流速이 12ℓ/min로 떨어졌다. 이는 순환 펌프의 위치가 높아 NPSH(Net positive suction head)가 세대로 확보되지 않은데서 원인이 된 것 같다. 따라서 管内流速의 조절은 1.8~12ℓ/min 범위내에서 可能하였다.

Table 4. Overall heat transfer coefficients of heat exchanger in each section at various water flow rates

Flow rate (l/min)	(kcal/m ² ·h·℃)			
	Preheating section	Holding section	Precooling section	Cooling section
1.8	627.79	583.41	731.27	360.99
4	875.41	1398.01	2036.16	288.44
6	1016.40	1588.87	2135.45	372.61
9	1085.34	1840.04	2571.94	238.71

殺菌裝置의 熱収支分析

무우김치液 대신 물을 사용하여 殺菌裝置의 熱収支分析을 行하였다. 즉 各水槽의 溫度가 所內溫度에 到達하였을때 김치槽에 물 10ℓ를 담고 裝置에 연결한뒤 펌프를稼動시켰다. 김치槽에서 나온 물은 予熱部, 殺菌部, 予冷部, 冷却部를 차례로 통과한후 다시 김치槽로 回收됐는데 이때 各部를 통과하고 나오는 물의 溫度를 측정한 결과 Table 2 와 같이 設計値와 實驗値가 약간의 差異를 보였다. 이와같은 差異는 設計時 總括熱伝達係

數를 stainless steel coil을 설치한 水槽의 水量과 攪拌手段 및 程度의 差異에 관계없이 1,000 Kcal/m²·h·°C로 推定한데 기인하는 결과로 생각된다.

한편 Table 4 는 여러가지 流速에서 各部의 溫度測定値와 式(1)에 의해 산출된 總括熱伝達係數를 나타낸 것으로 流速이 증가할수록 予熱部, 殺菌部, 予冷部의 總括熱伝達係數가 증가하였으나 冷却部에서는 不規則한 變化를 보였다.

予冷部에서의 總括熱伝達係數가 가장 컸으며 冷却部

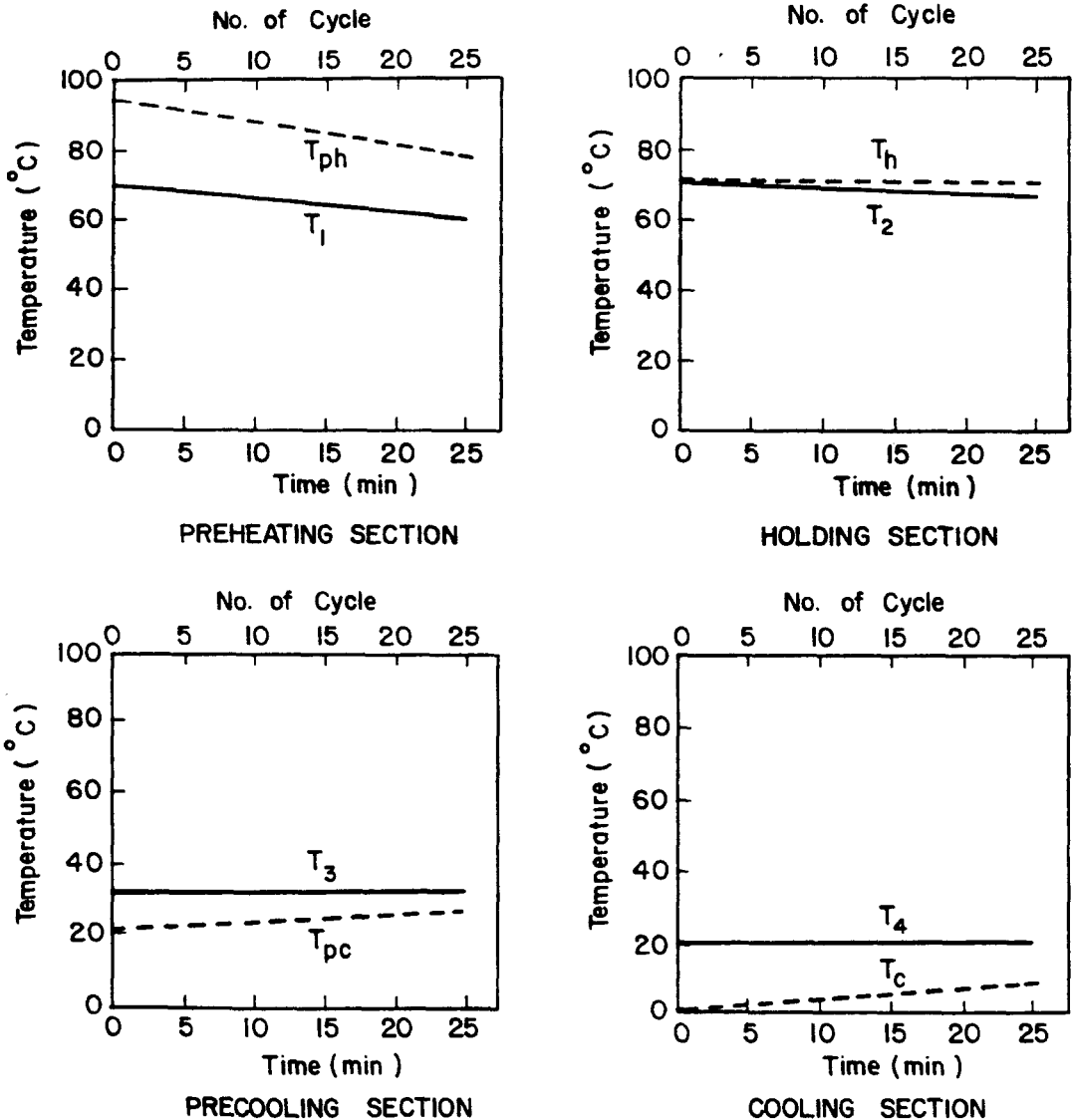


Fig. 3. Temperature profiles at various sections during *Kimchi* pasteurization

T₁ : outlet temperature of preheating section
 T₃ : outlet temperature of precooling section
 T_{ph}: temperature of preheating reservoir
 T_{pc}: temperature of precooling reservoir

T₂ : outlet temperature of holding section
 T₄ : outlet temperature of cooling section
 T_h: temperature of holding reservoir
 T_c: temperature of cooling reservoir

에서 가장 작았는데 流速이 4 l/min일 경우 이들의 평균값이 1,100Kcal/m²·h·°C로서 推定한 總括熱伝達係數와 近似함을 알 수 있다. 그러나 最大와 最少間의 差異를 볼 때 熱交換이 일어나는 水槽의 規格, 水量, 攪拌手段 및 程度의 差異에 기인했다고 보기에 너무 큰 差異를 보이고 있어 추후 再檢討해야 할 問題인 것 같다.

殺菌操作중 各 部의 溫度變化

김치瞬間殺菌方法은 김치液을 分離 殺菌하는 것으로 김치液을 上記 裝置에 의해 처리할 때 適正加熱處理를 받을 수 있는지 確認할 필요가 있다. 따라서 裝置稼動時間에 따른 各 部의 溫度變化를 測定한 결과 Fig. 3과 같았다.

予熱部, 予冷部 및 冷却部의 水槽溫度가 다소 增加 또는 減少하는 경향을 보였고 管内를 통과하는 물의 溫度는 予冷部, 冷却部의 경우 비교적 一定하게 維持되었으나 予熱部에서는 다소 減少하였다. 특히 殺菌部에서의 水槽溫度 및 管内를 통과하여 나오는 물의 溫度가 거의 一定하게 維持된 것은 裝置稼動중 他部에서의 溫度變化에 관계없이 殺菌部에서는 항상 충분한 殺菌效果를 얻을 수 있음을 뜻하며 本 裝置가 適正設計되었음을 알 수 있다.

固 · 液分離實驗

김치로부터 김치液分離時 생기는 問題點을 檢討하기 위해 熟成된 무우김치(무우/3%소금물=1:3, 중량비)를 試料로 殺菌實驗을 하였다. 그 結果 吸入口끝에 부착한 sponge filter에 의해 固形物로부터 分離된 김치液이 殺菌裝置를 거쳐 다시 김치槽로 流入되는 工程이 流速의 變化없이 잘 進行되었다. 다만 時間이 경과함에 따라 약간의 거품이 생겼으나 전체적인 殺菌工程에는 영향을 미치지 않았다. 거품의 發生원인은 펌프의 NPSH 值의 부족과 김치液속에 포함된 휘발성 물질의 氣化에 기인된 것 같으며 앞으로 이 問題는 改善되어야 할 것이다. 한편 固 · 液分離는 sponge filter로서 충분한 效果를 얻을 수 있었다.

무우김치를 使用한 予備實驗

本 殺菌裝置를 실제 무우김치에 適用하기 위해 무우김치(무우 / 3%소금물=1:3, 중량비) 10ℓ를 담금하여 pH4.6경에 이르렀을 때 殺菌裝置에 연결하여 殺菌部의 溫度 80°C, 裝置稼動時間 10分, 流速 4 l/min의 殺菌条件下에서 殺菌하여 20°C에 貯藏한 김치의 pH變化는 Fig. 4와 같았다.

pH4.3을 김치酸敗의 基準으로 할 때 非殺菌區에 비해

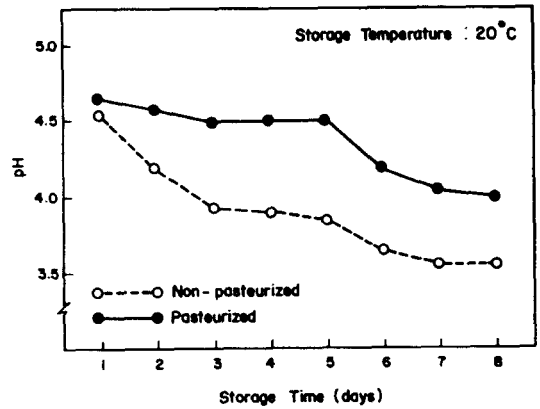


Fig. 4. Effect of pasteurization on the pH of chineese radish Kimchi, stored at 20°C

殺菌된 김치의 貯藏期間을 4日정도 延長하는 效果를 얻을 수 있어 本 殺菌裝置를 무우김치의 殺菌에 適用할 수 있을 것으로 생각된다.

以上の 實驗을 통해 pilot scale 連速式 김치瞬間殺菌裝置의 設計基準 및 製作方法을 提示하고, 裝置의 性能分析을 통해 適正設計 및 製作이 이루어졌음을 立証하였다. 앞으로 本 殺菌裝置를 이용하여 실제 김치를 試料로 殺菌實驗을 행하여 殺菌效果를 分析하고 정확한 殺菌工程의 分析이 이루어지면 김치瞬間殺菌方法을 工業의 김치生産에 應用할 수 있을 것으로 기대된다.

要 約

김치로부터 김치液만을 分離하여 加熱殺菌한 후 固形物과 再混合하는 殺菌方式을 工業의 김치生産에 適用시키기 위해 pilot scale 連速式 殺菌裝置를 設計·製作하여 設計基準 및 製作方法을 提示하였고 裝置의 熱収支分析을 통해 裝置의 適正設計 및 製作 与否를 檢討하였다.

殺菌裝置는 김치液分離·混合部, 予熱部, 殺菌部, 予冷部 및 冷却部の 5個部로 構成하였다. 殺菌裝置內 熱交換部の 所要管길이는 김치液의 流速 5 kg/min, 總括熱伝達係數 1,000Kcal/m²·h·°C로 假定하여 다음式 $W C_p \Delta T = U (2 \pi R L) \Delta T_{lm}$ 에 의해 決定하였다. 管内에서의 물의 流速이 4 l/min일 때 予熱部, 殺菌部, 予冷部, 冷却部에서의 總括熱伝達係數는 各各 875, 1,398, 2,036, 288Kcal/min·h·°C이었으며 裝置의 設計溫도와 實際 實驗值가 비교적 잘 一致하였다. 무우김치를 試料로 사용 해 本 裝置의 殺菌效果를 조사해본 결과 20°C에서 김치 貯藏期間을 非殺菌區에 비해 현저히 延長할 수 있었다.

文 獻

1. 李陽熙, 梁益相 : 한국농화학회지, 13, 207 (1970)
2. 申東禾, 金基成 : 식품연구보고서 (농어촌 개발공사) 201 (1975)
3. 李春寧, 全在根, 金浩植 : 한국농화학회지, 10, 33 (1968)
4. 鄭鎬權 : 한국농화학회지, 12, 57 (1969)
5. 金浩植, 全在根 : 원자력논문집, 6, 112 (1966)
6. 李南辰, 全在根 : 한국농화학회지, 24, 213 (1981)
7. 李南辰, 全在根 : 한국농화학회지, 25, 197 (1982)
8. Coulson, J. M. and Richardson, J. F. : *Chemical Engineering*, 3rd ed., Pergamon Press, Oxford, Vol. I, p. 248 (1977).
9. Charm, S. E. : *The Fundamentals of Food Engineering*, 3rd ed., AVI, Westport, p. 126 (1978).

(1983년 11월 29일 접수)