

고추장의 熱 特性 測定에 關한 研究

全 在 根·陸 澈 均·張 奎 燮*

*忠南 大學校 農科 大學 食品 加工 學科·서울 大學校 農科 大學 食品 工學科
(1979년 5월 7일 수리)

Studies on the Measurement of Thermal Properties of Kochujang

Jae Kun Chun, Chul Kyoon Mok and Kyu Seob Chang*

Department of Food Technology, College of Agriculture, Seoul National University, Suwon,

**Department of Food Science and Technology, College of Agriculture,
Chungnam National University, Taejon*

(Received May 7, 1979)

Abstract

The apparatus and method that permit rapid and continuous determination of thermal conductivity and diffusivity of Kochujang, Korean native semi-solid food, are presented.

1. The thermal conductivities of Kochujang are 0.3517 kcal/mh°C at 25°C, 0.3957 kcal/mh°C at 50°C and 0.4221 kcal/mh°C at 100°C. Thermal diffusivity of Kochujang is 0.1000 cm²/min at 50°C, specific heat and density are 0.573 kcal/kg°C, 1,220 kg/m³, respectively.
2. There exists 6.04 % discrepancy between the measured value and the calculated one from specific heat and density values.

序 論

食品工業이 大規模化되고 企業化됨에 따라 合理的인 食品 製造工程의 確立과 合理的인 食品 製造機械의 設計가 切實히 要求되고 있다. 特히 熱 處理工程은 食品 製造工程의 大部分을 차지하고 있으며 最終製品의 品質을 決定하는 重要한 것이다. 食品의 熱 特性은 食品 製造工程에 必要한 여러가지 物理的 性質中에서도 가장 큰 比重을 차지하고 있다.

食品의 熱 特性에는 熱 傳導度(thermal conductivity), 熱 擴散度(thermal diffusivity), 比熱 등이 屬하는 데 이中 熱 擴散度는 獨自의 特性이 아니라 熱 傳導度, 比熱, 密度의 함수로 表示된다.

그러나 既存의 食品의 熱 特性 測定 方法은 一般工

產品의 測定 方法을 食品에 適用한 것이고 食品의 경우 食品의 固有性質, 水分含量, 形態 등에 따라 측정 方法의 適用 範圍가 다르므로 그 測定 方法이 쉽지 않다.

食品의 熱 傳導도를 測定하는 方法은 크게 나누어 “定常 狀態法(steady state method)”와 “非定常 狀態法(unsteady state method)”가 있는데 Reidy⁽¹⁾ 등은 食品의 形態, 水分含量, 測定 誤差, 測定 所要時間, 測定 範圍, 計算의 難易度, 등을 比較 考察한 결과 非定常 狀態 方法이 食品에 더욱 잘 適用된다고 報告하였다. 非定常 狀態 方法은 Fitch⁽²⁾, Hooper⁽³⁻⁴⁾, Vos⁽⁵⁾, Dickerson⁽⁶⁾ 등에 의해 確立된 方法으로 이 方法에 따라 各種 食品의 熱 特性에 關한 活潑한 研究가 進行되어 왔다⁽⁷⁻¹⁵⁾.

그러나 前術 方法中 어느 것도 完全하고 一律的으로 各種 食品에 적용할 수 없으며 각 食品의 성질, 특히

含有하는 水分量에 따라 測定 方法을 選擇하여야 하므로 食品의 경우는 一般 工產品과는 달리 그 測定 方法이 용이하지 않고 같은 種類의 食品이라 할지라도 그 成分變化에 따라 熱 特性의 變化가 심하여서 實際 工業의 利用될 수 있는 資料는 극히 적은 形편이다. 또한 熱 傳導度와 熱 擴散度는 그 測定이 獨立의 行하여질 경우 試料의 不均質性 등에 의해 測定 誤差가 매우 크고 測定 時間도 많이 所要된다. 따라서 同一 試料와 장치를 써서 食品의 熱 特性을 쉽게 測定하는 方法을 確立하는 것은 重要하며 特히 우리나라의 경우는 食品의 熱 特性에 關한 研究가 全無한 實情이기에 저자들은 열 전도와 열 확산 계수를 同時에 측정할 수 있는 장치를 제작하고 우리나라의 代表的인 半固體 食品인 고추장에 適用하였으며, 그 結果를 보고하는 바이다.

材料 및 方法

1. 材 料

실험에 사용된 고추장은 Table 1과 같은 原料 配合比로 常法^(16,17)에 準하여 調製한 後 15日間 熟成시켜 試料로 하였다.

Table 1. The composition of Kochujang used

Wheat flour	Koji powder	Red pepper	Salt	Malt powder	Water
13.95	13.95	13.95	9.3	2.34	46.51

2. 測定 原理

1) 熱 傳導度

本 實驗에서의 熱 傳導度 測定 方法은 Vos⁽⁶⁾가 開發한 非定常 狀態 方法을 改良한 것으로 그 原理는 다음과 같다.

실린더에 試料를 채운 다음 그 中央에 heater와 thermocouple을 連結하고 恒溫 水槽內에서 실린더의 中心部와 表面의 溫度가 平衡에 도달 할 때까지 放置한 다음 heater에 直流 電源을 連結하여 가열하고 이때 실린더 中心으로부터 外部로의 熱 傳導는 加熱時間, 熱 傳達속도, 中心部와 실린더 表面과의 溫度와 다음과같은 關係를 갖는다.

$$k = \frac{q' l_n(t_2/t_1)}{4\pi(T_2 - T_1)} = \frac{I^2 Z l_n(t_2/t_1)}{4\pi(T_2 - T_1)} \quad (1)$$

이 식으로 부터 heater 表面의 온도가 T_1 에서 T_2 로 변화하는데 所要한 시간(t)과 電力量($I^2 Z$)를 측정함으로써 熱 傳導度를 산출한다.

2) 熱 擴散度

非定常 狀態에서 試料 溫度를 一定한 速度로 上昇시킬 때의 熱 擴散度는 Dickerson⁽⁶⁾에 의해 다음과 같이 定義되었다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = C = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \frac{k}{\rho C_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} \right) \quad (2)$$

만일 실린더의 길이가 充分히 길거나 insulation이 완벽하면 실린더의 軸方向으로는 熱 移動이 생기지 않으며 실린더 外部의 溫度를 실린더의 모든 部分에서 一定하도록 維持하면 실린더의 斷面에서 角度 θ 에 대한 溫度 勾配가 一定하게 되므로

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} = 0$$

이 된다. 한편 실린더를 加熱하는 수조의 온도 상승율 $\partial T/\partial t = A = \text{constant}$ 로 할때 (2)式은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{A}{\alpha} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \quad (3)$$

또한 실린더의 外部 모든 點에서 溫度 上昇 勾配를 一定하게 하고 그 값을 A 로 잡으면 A 는 α 와 더불어 常數가 되며 (3)식의 일변해는 (4)식이 된다.

$$T = \frac{Ar^2}{4\alpha} + C_1 \ln r + C_2 \quad (4)$$

지금 境界條件을 다음과 같이 잡을 때 즉

$$T = A \cdot t = T_R \quad (t > 0, r = R)$$

$$\frac{dT}{dr} = 0 \quad (t > 0, r = 0)$$

(4)式을 微分하고 整理하면 (5)式과 같다.

$$T_R - T = \frac{A}{4\alpha} (R^2 - r^2) \quad (5)$$

(5)式에서 $r=0$, $T=T_0$ 라 하면 熱 擴散度 α 는 溫度 上昇速度 A , 실린더의 半徑 R , 中心部와 表面의 溫度 差異 $T_R - T_0$ 를 측정함으로써 구할 수 있다. 芻식을 高추장에 적용함에 있어서 高추장은 多量의 水分이 均일하게 포함된 크림상태이므로 실린더 內에서 열 특성 측정 기간중 水分의 이동현상이 없다고 가정한다.

3. 測定 裝置

Fig.1와 같이 內徑 5.64 cm, 길이 25 cm의 stainless steel pipe의 양쪽에 두께 2 cm의 절연판으로 마개를 하고 마개의 中心部에 Ni-Cr wire(resistance: 40 Ω /m)를 內徑 1.7 mm의 stainless steel tube에 넣어 heater를 裝置하였고 電源으로는 DC battery(12 V)를 使用하였으며 可變抵抗으로 heater에 공급되는 熱量을 調節하였다. 溫度는 실린더의 表面과 heater의 表面에 各

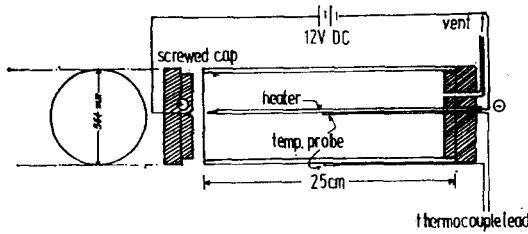


Fig. 1. Cylindrical cell for thermal conductivity determination

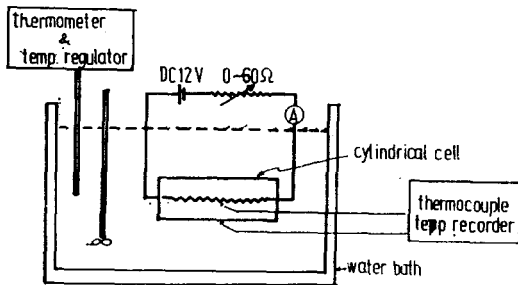


Fig. 2. Schematic diagram of the apparatus for testing thermal properties

各 直徑 0.1 mm의 chromel-alumel thermocouple을 裝 置하여 測定하였으며 이 裝置를 一定한 速度로 加熱하 고 一定한 溫度로 維持할 수 있도록 Fig. 2와 같이 恒溫 水槽內에 設置하였다.

4. 測定 方法

(1) 熱 傳導度

실린더에 試料를 채우고 마개를 막은 후 測定코 지 하 는 溫度의 恒溫 水槽에 넣고 約 1時間 程度 平衡시켜 실린더 中心部와 表面의 溫度가 같음을 확인한다. 다 음 0.55 ~ 0.65 amp 電流를 通하여 heater를 가열하 며 加熱 時間에 따른 溫度 上昇은 heater表面에 設置 된 thermocouple로 測定 記錄하였으며 所要 加熱 時間 (t), 加熱 時間에 따른 heater 表面의 溫度(T)와 所要 된 電力量(I²Z)를 測定하고 이를 (1)式에 代入하여 熱 傳導度를 算出하였다.

(2) 熱 擴散度

試料를 담은 실린더를 25°C의 恒溫 水槽에 넣어 실린 더의 表面과 中心部の 溫度가 25°C에 도달 한 다음 A = 1 °C/min 速度로 加熱할 때 실린더 表面과 中心部の 溫度를 測定 記錄하여 表面과 中心部の 溫度 差異 T_R - T₀가 一定하게 維持될 때 그 값을 (5)式에 代入하 여 熱 擴散度를 算出하였다.

(3) 比 熱

Fig. 3와 같은 보온병내에 먼저 15°C의 물 200 ml를

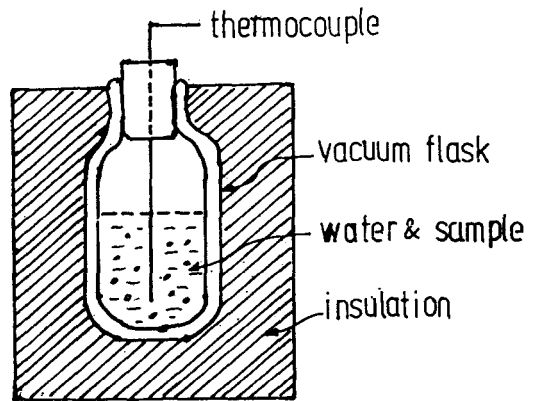


Fig. 3. Specific heat measuring apparatus

넣는다. 다음 45 g 程度의 試料를 正確히 秤量하여 50 °C의 恒溫 水槽에서 加熱하여 평형에 도달한 다음 신속 히 보온병에 넣고 混合한 후 溫度가 平衡에 到達하면 試料에 依해 加熱된 물의 溫度 上昇으로부터 다음 式에 依하여 比熱을 算出하였다.

$$C_p = \frac{C_c W_c (T_m - T_i)}{W_p (T_p - T_m)} \tag{6}$$

(4) 密度 測定

試料를 一定한 體積을 갖는 容器에 채워 그 體積이 차지하는 試料의 무게를 測定하여 密度를 算出하였다.

結果 및 考察

1) 고추장의 熱 特性 算出

本 裝置를 사용하여 고추장의 熱 傳導度の 測定 條 件과 測定 結果를 보면 Table 2와 같다.

$$k = \frac{I^2 Z \ln(t_2/t_1)}{4\pi(T_2 - T_1)} = \frac{(0.65)^2 \times 40 \times \ln 30/10}{4\pi(45.3 - 41.7)} = 0.4104 \text{ J/m} \cdot \text{sec} \cdot \text{°C} \text{ 또는 } 0.3517 \text{ kcal/mhr} \cdot \text{°C}$$

Table 2. The changes of center temperature at various initial temperature

Heating time (min)	Temperature at the center of cylinder at		
	25°C	50°C	100°C
0	25.0	50.0	100.0
10	41.7	65.0	113.6
20	44.0	67.5	115.4
30	45.3	68.9	116.6
40	46.0	69.3	118.2
50	46.2	70.0	119.1
60	46.7	70.7	119.6

*Heater current; 0.65 amp
Resistance of heater wire; 40 ohms/m

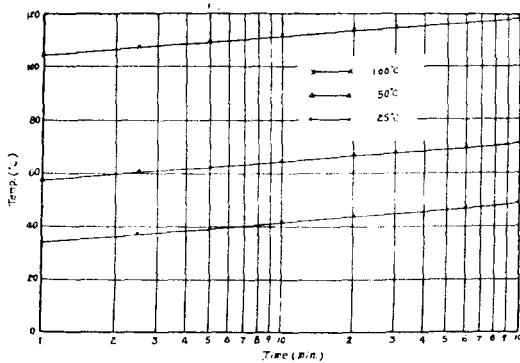


Fig. 4. Semilogarithmic plot of the experimental data of Table 2

25°C에서의 熱傳導 測定 結果 heater 部位, 즉 실린더 中心部의 試料 溫度를 半 對數紙에 作成하면 Fig. 4와 같은 直線으로 表示되므로 (1)식에 適用할 수가 있다. 즉 Fig. 4의 直線의 기울기는 $\frac{l^2 Z}{4\pi k}$ 가 되므로 熱傳導度는 25°C의 경우 다음과 같이 算出할 수 있다. 역시 50°C 및 100°C에서의 熱傳導度는 각각 0.3957 kcal/mh°C과 0.4221 kcal/mh°C였다. 즉 고추장의 熱傳導度는 加熱 處理 溫度가 높아짐에 따라 증가하였다.

(2) 熱 擴散度

熱 擴散度는 고추장의 熱 處理 難易度를 決定하는 重要한 資料가 된다. 먼저 실린더에 試料 고추장을 넣고 高溫 水槽내에서 一定한 速度로 加熱하였다

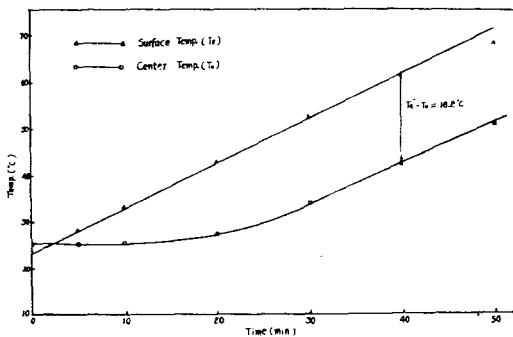


Fig. 5. Thermal diffusivity test on Kochujang

이때 실린더의 表面과 中心部의 溫度는 Table 3과 같으며 이를 圖示하면 Fig. 5과 같이 실린더의 中心部와 表面의 溫度 差異가 18.2°C로 一定하게 되었으며 熱 擴散 係수는 (5)식에 依해 다음과 같이 算出할 수 있다

$$\alpha = \frac{AR^2}{4(T_R - T_0)} = \frac{0.916 \times (2.80)^2}{4 \times 18.2} = 0.1000 \text{ cm}^2/\text{min.}$$

따라서 中心部와 表面의 溫度 差異가 一定해 지기

Table 3. The temperature changes at center and surface of cylinder

Heating time (min)	Temperature (°C)	
	center	surface
0	25.0	23.0
10	25.0	33.0
20	28.2	42.9
30	34.7	52.0
40	42.1	61.0
50	50.5	68.7

Initial water bath temp; 25°C
Heating rate (A); 0.9°C/min

始作할 때의 실린더 中心部의 溫度는 約 50°C이므로 이때 熱 擴散度는 0.1000 cm²/min가 된다. 실제로 T_R-T₀의 값은 일정치 않고 加熱을 계속할수록 약간씩 증가하는 경향이 있는데 이는 A의 값을 一定하게 유지하는데 어려움이 따른 데서 오는 오차라고 볼 수 있다 따라서 T_R-T₀의 값은 加熱 時間 30分 以後의 값을 측정하여 그 平均値로 하는 것이 타당할 것으로 보며 이렇게 될 경우 α의 값은 0.0855~0.1000 사이에 있게 된다.

(3) 比熱

加熱, 冷却等 熱 處理 操作에 必要한 熱量 算出에 必要한 比熱의 測定 結果는 Table 4와 같다.

Table 4. Experimental data of specific heat measurement of Kochujang

W _p (gr)	W _c (gr)	T _p (°C)	T _i (°C)	T _m (°C)	C _c (kcal/kg°C)
45.72	200	45.8	13.0	16.8	1.0

위의 實驗値로 부터 (8)식에 代入하여 算出한 고추장의 比熱은 0.573 kcal/kg°C이었으며 다음과 같이 算出하였다.

$$C_p = \frac{200 \times 1 \times (16.8 - 13.0)}{45.72 \times (45.8 - 16.8)} = 0.573 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

(4) 고추장의 熱 傳導度, 比熱, 熱 擴散度와의 關係

一般的으로 熱 擴散度는 (7)식과 같이 定義되는데 (18) 고추장에 있어서 熱 傳導度 0.3957 kcal/mh°C, 比熱 0.573 kcal/kg°C, 密度 1,220 kg/m³을 (7)식에 代入하여 算出하면 熱 擴散度는 0.0943 cm²/min이 되는데 이는 實際 測定한 값 0.1000 cm²/min과 比較할때 6.04%의 差異를 나타내고 있다.

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} = \frac{0.3957 \text{ kcal/mhr}^\circ\text{C}}{0.573 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times 1,220 \text{ kg/m}^3} = 0.9 \text{ m}^2/\text{h}$$

이것은 고추장이 純粹한 單一 物質이 아닌 複合的인 成分과 이에 따른 物性에 기인한다고 볼 수 있으며 A 값을 一定하게 유지하지 못한데서 오는 오차를 감안할 때 이와같은 差異는 Dickerson⁽⁶⁾이 實驗한 純粹한 硫酸(ammonium sulfate)에서의 2.9%, sodium sulfate에서의 4.2%와 比較할 때 큰 差異가 없어 높은 正確度를 나타내고 있다고 볼 수 있으며 따라서 本測定方法은 고추장과 유사한 他食品에도 適用할 수 있는 充分한 근거를 提示하고 있어 앞으로 熱 特性 資料의 確立에 도움을 줄 것으로 期待된다.

要 約

半固體 食品의 熱 傳導도와 熱 擴散도를 連續的으로 測定할 수 있는 裝置를 製作하여 우리나라 固有의 半固體 食品인 고추장의 熱 特性을 測定하였는 바 그 結果는 다음과 같다.

1. 고추장의 熱 傳導는 25°C에서 0.3517 kcal/mh°C, 50°C에서 0.3957 kcal/mh°C, 100°C에서 0.4221 kcal/mh°C이고 熱 擴散도는 50°C에서 0.1000 cm²/min 였으며 比熱은 0.573 kcal/kg°C였다. 또한 고추장의 密度는 1,220 kg/m³이었다.

2. 計算에 依한 熱 擴散도나 實際 測定한 熱 擴散도와는 6.04%의 差異를 나타내고 있어 本裝置가 다른 半固體 食品의 熱 特性 測定에도 利用될 수 있는 根據를 提示하였다.

文 獻

1. Reidy, G. A. and Rippen, A. L.: *Trans. ASAE* 14, 248 (1971)
 2. Fitch, A. L.: *Am. Phys. Teacher* 3, 135(1935)
 3. Hooper, F. C. and Lepper, F. R.: *ASHVE Trans.* 56, 309(1950)
 4. Hooper, F. C. and Chang, S. C.: *ASHVE Trans.* 59, 463 (1953)
 5. Vos, B. H.: *Applied Science Research*, Hague, A5, 425 (1955)
 6. Dickerson, Jr., R. W.: *Food Tech.*, 19, 880 (1965)
 7. Molim, S. W. and Sawdye, J. A.: *Food Tech.*, 15, 228 (1961)
 8. Miller, H. L. and Sunderland, J. E.: *Food Tech.*, 17, 124 (1963)
 9. Lusk, G. and Karel, M.: *Food Tech.*, 18, 1625 (1964)
 10. Massey, Jr., W. M. and Sunderland, J. E.: *Food Tech.* 21, 408 (1967)
 11. Ojha, T. P., Farrall, A. D., Dhanak, A. M. and Stine, C. M.: *Trans. ASAE* 10, 543(1967)
 12. Dickerson, Jr., R. W. and Read, Jr., R. B.: *Food Tech.* 22, 1355 (1968)
 13. Yamada, T.: *J. Agric. Chem., Japan* 44, 587 (1970)
 14. Sweat, V. E., Haugh, C. G., and Stadelman, W. J.: *J. Food Science* 38, 158(1973)
 15. Rao, M. A., Barnald, J. and Kenny, J. F.: *Trans. ASAE* 18, 1188 (1975)
 16. 김재욱: 신고농산가공학, 172 (1972)
 17. 여영근, 김재욱: 한국농화학회지, 21, 16(1978)
 18. Jakob, M.: *Heat transfer*, John Wiley and Sons, New York, 1, 313 (1949)
- 〈使用 記號〉
- A = linear rate of heating, °C/min
 C, C_{1,2} = arbitrary constants
 C_c = specific heat of water
 C_p = specific heat at constant pressure, Kcal/kg°C
 I = current, ampere
 k = thermal conductivity, Kcal/h m°C
 L = length of cylindrical sample
 q' = rate of heat transfer per unit length, Kcal/h
 R = radius of cylinder or inside radius of thermal diffusivity tube, cm
 r = cylindrical coordinate
 T = temperature at arbitrary time, °C
 T_i = initial temperature of water, °C
 T_m = temperature of mixture, °C
 T_p = initial temperature of sample, °C
 T₀ = temperature at the center of a cylinder or diffusivity tube, °C
 T_R = temperature at the surface of a cylinder or thermal diffusivity tube, °C
 t = time, min
 x, y, z = rectangular coordinates
 W_c = weight of water, g
 W_p = weight of red pepper, g
 Z = resistance per unit length of heater wire, Ohms /m Greek
 α = thermal diffusivity, cm²/min
 θ = cylindrical coordinate
 ρ = density, kg/m³