

## 食品의 熱特性에 關한 研究

### 第 1 報 : 韓國固有食品의 熱特性

張奎燮·全在根\*

忠南大學校 食品加工學科, \*서울大學校 食品工學科  
(1981년 11월 19일 수리)

## Studies on the Thermal Properties of Foods

### I. Thermal Properties of Some Korean Foods

Kyu Seob Chang and Jae Kun Chun\*

Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon 300

\*Department of Food Technology, Seoul National University, Suwon 170

(Received November 19, 1981)

#### Abstract

Thermal properties of 12 Korean foods were determined by using an apparatus constructed by authors.

Specific heat of acorn *mook* showed the highest value ( $0.856 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ) and that of *Chung-kookjang* the lowest value ( $0.606 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ) among 12 foods investigated. Thermal conductivity of the salted wild sesame leaf at the initial temperature of  $20^\circ\text{C}$  was found to be the highest ( $0.451 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ ) among the foods investigated and that of mungbean *mook* the lowest ( $0.304 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ ). Thermal conductivity appeared to get higher as the initial temperature increased from  $20^\circ\text{C}$  to  $60^\circ\text{C}$ . Thermal diffusivity of *Kochujang* was the highest ( $0.0877 \text{ cm}^2/\text{min}$ ) and the mungbean *mook* the lowest ( $0.0518 \text{ cm}^2/\text{min}$ ) among the foods investigated. Thermal conductivity of foods also appeared to increase as the initial temperature increased. The difference between the calculated values and the measured values was very small (1.655 residual percent in the statistical analysis).

#### 序 論

食品의 熱傳導度(thermal conductivity), 熱擴散度(thermal diffusivity) 및 比熱(specific heat) 등의 熱特性은 食品製造에서 加熱 또는 冷却速度를 決定하는데 主要한 因子가 될뿐만 아니라 熱處理裝置를 設計하

는데 基本的인 資料가 된다. 더우기 오늘날 食品工業이 高度로 發達됨에 따라 食品의 熱特性을 合理的으로 利用함은 製品の 品質을 높이는데 重要한 物理的 性質이 되고 있다<sup>(1,2)</sup>. 食品의 熱特性에 關한 研究는 各種 果實, 菜蔬 등의 比熱을 測定하여 加熱 또는 冷却에 所 要되는 熱量을 計算한 것이 처음이며<sup>(3,4)</sup> 그후 Michael, Disney 等<sup>(5,6)</sup>은 穀物 및 감자의 比熱이 水分含量과 密

도에 따라 달라진다고 報告하였다.

食品의 熱特性中 熱傳導度測定에는 定常狀態方法(steady state method)과 非定常狀態方法(unsteady state method)이 있으며, 定常狀態方法에는 平行板法(parallel plate method), 同心圓柱狀法(concentric cylinder method), 同心球法(concentric sphere method) 등이 있고, 非定常狀態方法에는 加熱冷却曲線法(heating and cooling curve method), 深針法(probe method) 등이 있다<sup>(7-9)</sup>.

平行板法은 흔히 工產品에 適用되어 왔으나 食品에서는 水分含量이 낮은 固體食品에 使用하기 適當하여, 玄米, 乾燥魚肉 및 乾燥果菜類 등의 熱傳導도를 測定하는데 利用되어 왔다<sup>(10-12)</sup>. 그러나 水分含量이 높거나 固體粒子間에 空隙이 많은 試料은 對流에 依한 誤差가 커서 適用하기 어렵다고 Duncan 등<sup>(13-15)</sup>은 報告하였다.

同心圓柱狀法은 液體, 乾燥粉末 및 粒狀食品의 熱傳導도를 測定하는데 適合하며<sup>(16)</sup> 다른 方法에 比하여 誤差가 크나 裝置가 簡單한 利點이 있어 이 方法에 依한 밀가루의 傳導도를 測定 報告한 바 있다<sup>(17)</sup>. 이와 類似한 同心球法은 水分含量이 比較的 낮은 固體食品의 熱傳導도를 測定하는데 適當하여, Gentsler 등<sup>(18-20)</sup>이 이 方法으로 製라틴 젤, 魚類 및 肉類의 熱傳導도를 測定하였다. 한편 非定常狀態方法은 Ball 등<sup>(21,22)</sup>이 遂行한 통조림 殺菌時 食品의 性質, 幾何學的 型態, 微生物의 特性 등에 關한 綜合的 研究를 바탕으로 하여 Held<sup>(23)</sup> 및 Powell<sup>(24)</sup>이 처음으로 液狀食品에 對하여 研究하였으며, 그후 Vos<sup>(25)</sup>가 非定常狀態方法으로서 加熱冷却曲線方法을 定立하였다. 이 方法은 여러 境界條件에서 試料의 加熱 및 冷却溫度를 測定하여, 加熱하는 時間과 試料의 溫度가 指數的으로 變하므로 이로부터 熱擴散度 및 熱傳導도를 求할 수 있다<sup>(26-28)</sup>. Hurwicz<sup>(29)</sup>는 圓柱狀容器에 試料을 넣고 中心部位를 加熱할 때 생기는 上昇溫度를 測定하여 熱傳導도를 求하였다. 深針法(probe method)은 加熱冷却法과 類似하나 深針을 使用한 것이 特徵이며, 穀物의 熱傳導도를 測定하는데 適當하다. Hooper 등<sup>(30,31)</sup>은 모양이 다른 실린더에 深針을 使用하여 모래, 톱밥 土壤 등의 熱傳導도를 測定한 結果, 平行板法에 比하여 0.5% 程度밖에 差異를 나타내지 않음을 確認하였다. 近來에 와서 熱傳導도를 迅速하게 測定할 수 있는 裝置가 開發되어 있으나 이것은 木材類, 金屬類와 같이 均一한 物質에는 比較的 正確도가 높으나 食品과 같이 不均一한 物質을 測定할 때는 問題點이 있다<sup>(32,33)</sup>. 食品의 熱特性中 熱擴散도는 熱傳導도, 比熱, 密度와 函數關係를 利用하여 計算하는 方法과 熱傳導도를 測定할 때와 같이 定

常狀態方法과 非定常狀態方法으로 實際 測定할 수도 있다. 一般的으로 食品은 種類와 形態가 다르고 境界條件이 다르게 주어지기 때문에 非定常狀態方法을 많이 채택하고 있다. Dickerson과 Carlslaw 등<sup>(34-36)</sup>은 過渡 熱傳達(transient heat flow)에서 時間이 지남에 따라 溫度가 變化할 때, 各 境界條件에서의 解를 根據로 하여 熱擴散도를 過渡狀態方法(transient method)으로 測定하는 裝置에 대한 理論을 展開시켰다. 즉 測定 裝置는 半徑의 自乘에 對한 溫度變化量의 比가 되는 후리에(Fourier)數가 0.55 以上이 되어야 하며, 表面과 中心部の 溫度差가 높을 때는 圓桶型의 半徑이 커야 한다고 하였으나, Tsederberg<sup>(15)</sup>는 0.3~0.5보다 커야 理想的이라 하였다. 이 裝置는 中心部에 熱電雙(thermocouple)을 附着해야 하고 試料의 初期溫度를 均一하게 한 다음 恒速加溫해야 하는 등 번거로움이 뒤따르지만 簡單한 裝置로 熱入量을 測定하지 않고도 짧은 時間內에 熱擴散도를 測定할 수 있다는 長點이 있을 뿐만 아니라, 같은 裝置를 써서 熱傳導도도 測定할 수 있다는 利點이 있다<sup>(25)</sup>. 따라서 本 研究에서는 Vos<sup>(25)</sup>와 Dickerson<sup>(34)</sup>이 確立한 理論에 따라 동일한 裝置를 써서 熱傳導도와 熱擴散도를 測定할 수 있는 裝置를 만들어 第1報에서는 아직까지 測定된 바 없는 몇가지 韓國食品의 熱特性을 測定하여 그 結果를 報告하고자 한다.

## 材料 및 方法

### 試料

韓國 固有食品으로서 쌀밥과 김치는 通常의인 方法으로 調理, 調製한 것이고 두부, 고추장, 된장, 청국장, 녹두묵, 메밀묵, 도토리묵, 어묵, 비지, 깻잎은 大田市 中央市場에서 販賣되는 것을 講入하여 試驗材料로 使用하였는데 常法에 따라 分析한 이들 試料의 成分은 Table 1과 같다.

### 方法

가. 比熱의 測定  
容器內에 들어있는 一定溫度, 一定量의 물에 加溫된 一定量의 試料을 添加하였을 때, 熱收支는 (1)식과 같이 되고

$$W_s C_s (T_s - T_m) = H_c (T_m - T_i) + W_w C_w (T_m - T_i) \quad (1)$$

여기서 칼로리미터 容器의 熱容量常數  $H_c$ 는 다음 (2)식과 같으므로

$$H_c = \frac{W_s \Delta T_s - W_w \Delta T_w}{\Delta T_f} \quad (2)$$

(1)식과 (2)식에서 試料의 比熱  $C_s$ 를 計算하였다. 여기서 使用한 칼로리미터 플라스크의 熱容量常數는 다음과 같이 算出하였다. 먼저 11.6°C의 蒸溜水 500

Table 1. General composition of some Korean foods

(Unit : wt. %)

Food	Moisture	Protein	Fat	Carbohydrate		Ash
				Sugar	Fiber	
Cooked rice	63.4	3.9	0.2	31.7	0.7	0.1
Kimchi	88.1	1.6	0.8	2.3	6.4	0.8
Soybean curd	82.4	8.7	4.8	2.4	0.5	1.2
Kochujang	52.2	6.1	2.5	26.6	2.8	9.8
Fermented soybean paste	48.6	13.8	3.8	16.5	3.6	13.7
Chungkookjang	52.6	14.4	11.1	13.5	4.4	4.0
Mungbean mook	70.3	5.2	0.6	23.4	0.4	0.1
Buckwheat mook	75.9	2.1	0.7	20.4	0.6	0.3
Acorn mook	82.2	1.0	0.6	15.4	0.7	0.1
Fish meat paste	62.1	18.5	3.3	13.8	0.2	2.1
Soybean curd residue	80.5	8.7	52.5	5.4	2.6	0.3
Salted wild sesame leaf	85.1	2.2	1.1	5.1	2.6	3.9

ml 를 플라스크에 넣고 곧바로 39.6°C 로加溫한 蒸溜水 500 ml 를 注入하여 溫度를 平衡시켰고, 이때의 溫度는 25.7°C 였다. 試料를 넣기 前에 常溫에서 放置되었던 플라스크 內面의 初期溫度가 20.5°C 였으므로 이 값을 式(2)에 代入하여 칼로리미터 플라스크의 熱容量 常數 19.23 cal/°C 를 얻었으며 計算은 다음과 같다.

$$H_c = \frac{500(25.7 - 11.6) - 500(39.6 - 25.7)}{25.7 - 20.5}$$

$$= 19.23 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

本 實驗에서 使用한 칼로리미터의 플라스크는 Fig. 1 에서와 같은 保溫瓶을 改造하여 使用하였다. 內部の 溫度는 直徑 0.1 mm 의 alumel—chromel 熱電雙을 써서 測定하였고, 外部溫도의 影響을 防止하기 爲하여 바깥 部分에 스티로폴로 다시 쌓아 斷熱하였다. 測定方法을 보면 먼저 플라스크內에 熱交換媒體인 물

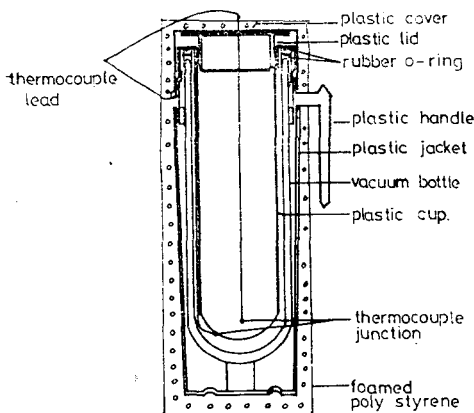


Fig. 1. Cross-sectional view of calorimeter for specific heat determination

을 約 250 ml 程度 正確히 秤量하여 넣고 이때의 溫度를 測定하였다. 다음 잘게 부순 試料를 35°C 水槽에서 均一하게 加溫하여 250 g 程度 正確히 秤量하여 플라스크에 넣었다. 이때 물과 均一하게 混合하면서 平衡에 到達할 때의 溫度를 測定하여 式(1)에 代入, 比熱을 算出하였다.

나. 密度의 測定

熱擴散度, 熱傳導度, 比熱과의 關係式에서 函數가 되는 密度는 直徑 5.5 cm, 높이 3 cm, 두께 0.5 mm 인 알미늄 容器에 試料를 채워 重量을 秤量하여 求하였다.

다. 熱傳導度の 測定

(1) 原理 本實驗에서의 熱傳導度 測定方法은 Voss<sup>(25)</sup>가 確立한 非定常狀態方法을 약간 變形한 것으로 그 原理는 다음과 같다. 食品의 加熱 및 冷却操作은 그 大部分이 熱의 移動速度가 時間에 따라 變化하는 非定常狀態에서의 熱移動으로서, 溫度가 均一한 試料에 一定量의 熱을 加하면 이때 溫度上昇은 時間의 函數이다. 즉 실린더에 試料를 채운 다음 그 中央에 熱線과 熱電雙을 連結하고 恒溫水槽에서 실린더의 中心部와 表面의 溫度가 같아질 때까지 放置한 다음, 熱線에 直流電源을 連結하여 실린더의 中心部로부터 外部로 熱移動시킬 때의 熱傳導度, 加熱時間, 加熱熱量 및 中心部の 溫度와의 關係는 Hooper<sup>(30,31)</sup> 등에 依하여 다음과 같이 나타내었다.

$$\Delta T = \frac{q}{4\pi k} \ln \frac{t_2}{t_1} \tag{3}$$

$$\text{또는 } k = \frac{q \ln(t_2/t_1)}{4\pi(T_2 - T_1)} \tag{4}$$

그런데 q는 電力量으로 나타내며 다음 式과 같다.

$$q = I^2 Z \tag{5}$$

따라서 式(4)에 式(5)를 代入하면 다음과 같은 熱傳導度 算出式을 얻을 수 있다.

$$k = \frac{I^2 Z \ln(t_2/t_1)}{4\pi(T_2 - T_1)} \quad (6)$$

따라서 熱線表面에 接觸된 試料의 溫度는 加熱時間에 代數的으로 比例하므로, 加熱時間에 따른 試料의 溫度 上昇을 測定하므로써 熱傳導도를 算出할 수 있다.

(2) 裝置 및 方法 Fig. 2에서와 같이 內徑 5.64 cm, 길이 25 cm의 스테인레스 鋼管의 양끝에 두께 2.5 cm의 테프론板으로 마개를 하고, 마개의 中心部에 Ni-Cr 線(抵抗: 40 Ω/m)을 얹은 石綿으로 된 絕緣體를 씌워서 內徑 1.7 mm의 스테인레스 鋼管에 넣어 加熱器로 하였다. 加熱熱源으로는 12 volt의 DC 電池를 使用하였고, 可變抵抗器로 電力量을 調節하였다. 加熱器의 溫度는 加熱器表面에 直徑 0.1 mm의 alumel-chromel 熱電雙을 接着하여 測定하였다. 먼저 잘게부순 測定 試料을 실린더에 緻密하게 채운 다음 마개를 막고 20°C 및 60°C로 調節된 水槽에 넣고 1時間 程度 平衡시켰다. 그리고 中心溫度가 表面溫도와 같아지면 0.58 암페어 電流를 加熱器에 通하여 試料을 加熱하였다. 溫度測定은 앞서 裝置한 熱電雙으로 加熱時間에 따라 變하는 加熱器 表面의 溫度를 測定하고, 이를 (6)式에 代入하여 熱傳導도를 算出하였다.

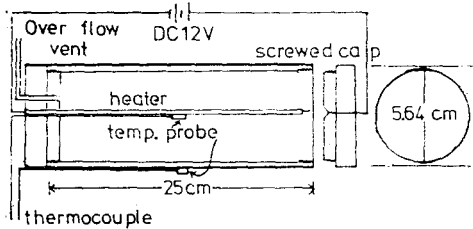


Fig. 2. Cylindrical cell for thermal conductivity

라. 熱擴散度的 測定

(1) 原理 熱擴散度的 測定은 Carslaw<sup>(35,36)</sup>의 理論을 根據로, Dickerson等<sup>(34)</sup>이 確立한 方法을 基礎로 하였으며, 그 原理는 다음과 같다. 恒溫槽안에 裝置한 실린더內 試料의 任意의 點에서 時間 t에 따라 溫度 T는 圓柱座標 r, θ, z와 函數關係가 있다. 즉 이들은 微分型 에너지 收支式(differential energy balance equation)으로 나타낼 수 있는데 다음과 같다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (7)$$

이 式에서 α는 熱擴散度이며, 食品의 比熱(C<sub>p</sub>), 密度(ρ), 熱傳導度(k)와는 다음 式과 같은 關係를 갖는다.

$$\alpha = \frac{k}{C_p \cdot \rho} \quad (8)$$

여기서 T = T(r, t)이므로 (7)式은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (9)$$

지금 실린더 表面의 溫度上昇速度(∂T/∂t)를 一定한 값 A로 주어질 때 (9)式은

$$\frac{A}{\alpha} = \left( \frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dT}{dr} \right) \quad (10)$$

로 나타낼 수 있으며 (10)式의 一般解는 다음과 같다.

$$T = \frac{Ar^2}{4\alpha} + C_1 \ln(r) + C_2 \quad (11)$$

지금 境界條件을 t > 0, r = R로 잡을 때  
t = 0, r = 0

(11)式은 다음과 같다.

$$T_R - T = \frac{A}{4\alpha} (R^2 - r^2) \quad (12)$$

여기서 r = 0 일때, T = T<sub>0</sub> 라면

$$T_R - T_0 = \frac{AR^2}{4\alpha} \quad (13)$$

$$\text{또 } \alpha = \frac{AR^2}{4(T_R - T_0)} \quad (14)$$

따라서 恒溫槽의 溫度上昇速度 A, 실린더의 R, 中心部와 表面의 溫度差異 T<sub>R</sub> - T<sub>0</sub>를 測定함으로써 熱擴散度 α를 式(14)에 代入하여 求할 수 있으며, 이때 表面溫度 T<sub>R</sub>과 中心溫度 T<sub>0</sub>의 變化를 時間에 따라 나타내면 Fig. 3과 같다.

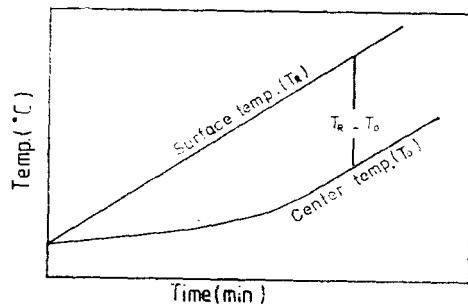


Fig. 3. Plot of thermal diffusivity determination

(2) 裝置 및 方法 式(14)를 適用할 수 있도록 Fig. 2와 같은 熱傳導度 測定 실린더에 試料을 緻密하게 充填하였다. 試料가 담긴 실린더를 20°C의 恒溫水槽에 넣고 (Fig. 4) 1時間程度 放置하여 表面과 中心溫度가 一致하게 한 다음, 水槽의 溫度를 一定한 速度(A = 1°C/min)로 加熱할 때 실린더의 表面과 中心溫度를 電位差計에 連結한 熱電雙에 依하여 測定, 記錄하였으며, 表面과 中心部 溫度差(T<sub>R</sub> - T<sub>0</sub>)가 一定하게 될 때의 값

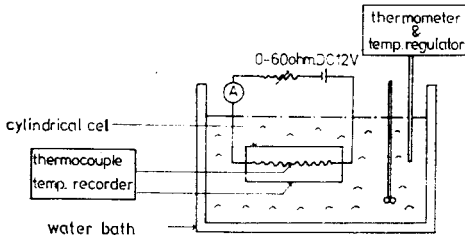


Fig. 4. Schematic diagram of thermal conductivity and diffusivity apparatus

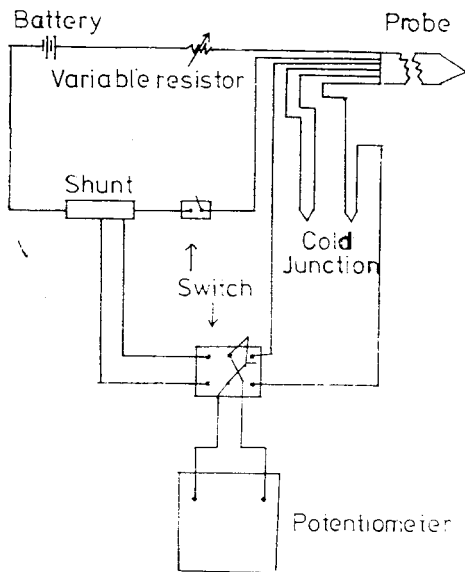


Fig. 5. Electrical circuit of temperature measuring

을 취하였다(Fig. 3). 熱電雙을 利用한 溫度測定은 熱傳導度 때와 같은 方法으로 遂行하였으며 이때의 各部位의 回路를 圖示하면 Fig. 5 와 같다.

結果 및 考察

比熱

比熱은 加熱, 冷却等 熱處理操作에서 熱量算出에 必須의인 것으로 두부, 쌀밥, 김치 등을 포함한 12種의 韓國食品에 對하여 앞의 式(1)과 (2)를 適用하여 算出하였으며, 淸국장을 예로 보면 다음과 같다. 즉 容器內에서 34.5°C로 加溫한 試料 250g을 12.3°C의 물 250g에 熱平衡 시켰을 때 平衡溫度는 20.8°C였고, 앞에서 求한 容器的 熱容量常數는 19.23 cal/C°였으므로, 比熱은 式(1)에 依해 다음과 같이 算出되었다.

$$C_s = \frac{19.23(20.8 - 12.3) + 250(20.8 - 12.3)}{250(34.5 - 20.8)} = 0.698 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

이와같은 方法으로 各種 食品의 比熱을 測定한 結果는 Table 4 와 같다. 여기서 쌀밥은 0.715 kcal/kg·°C, 김치는 0.831 kcal/kg·°C, 고추장은 0.613 kcal/kg·°C 였다. 여기서 얻은 고추장의 比熱은 全等(37)이 測定한 값 0.573 kcal/kg·°C보다 약간 높은 값을 나타냈는데 理由는 使用한 고추장의 差異에 起因한 것으로 보인다. 된장에서 報告에 따르면(38) 25°C에서 0.688 kcal/kg·°C로 나타났는데, 本實驗에서는 0.707 kcal/kg·°C로 약간의 差異는 보였으나, 이것도 역시 試料의 差異에 依한 것으로 볼 수 있겠다. 特히 澱粉質 食品인 녹두, 메밀, 도토리묵은 各各 0.805 kcal/kg·°C, 0.818 kcal/kg·°C, 0.856 kcal/kg·°C로서 비슷한 값을 나타내고 있으며, Table 1 에서와 같이 成分組成에서 도토리묵의 水分含量이 82.2%로서 녹두묵의 70.3%보다 더 높은 점을 고려하여 보면 食品의 比熱은 水分含量과 密接한 關係를 갖고 있음을 보여주고 있다. 이 結果는 감자를 對象으로 研究한 Yamada(39)와 젤라틴 겔을 試料로 使用한 Hampton(40) 등의 結果와 一致된다. 이와 같은 事實은 물의 比熱이 他成分의 比熱에 比하여 큰데 起因된다고 思料된다. William(41) 등은 水分含量이 80%인 삶은 감자의 比熱이 0.87 kcal/kg·°C, 메밀澱粉이 0.77~0.90 kcal/kg·°C, 튀긴생선이 0.72 kcal/kg·°C라고 報告한 것은 本實驗에서 使用한 同一水準의 水分含量을 갖는 食品인 도토리묵이 0.856 kcal/kg·°C, 어묵이 0.662 kcal/kg·°C인 것과 比較할 때 이들의 結果와 相當히 一致함을 보여주고 있다.

密度

食品의 密度는 熱傳導度, 比熱과 함께 熱擴散度에 큰 影響을 미치며 이들과 서로 函數關係를 갖고 있는데, 一定한 알미늄容器에 채워 秤量하여 測定한 韓國食品 12種의 密度를 보면 Table 4 와 같다. 密度는 重量에 比例하고 容積에 反比例하기 때문에 重量이 많으면 密度도 높아지고 따라서 鹽分含量이 많은 된장이 1.243 g/cm³로 調査對象食品中 가장 높았고, 構成分의 比重이 낮고 組織內 空隙이 많은 두부에서는 1.042g/cm³로 가장 낮았다. 이와같이 測定된 密度는 熱擴散度の 計算值를 算出하여 測定值와 比較하는데 使用되었다.

熱傳導度

Fig. 2 및 3 과 같은 裝置로 韓國食品 12種에 對하여 初期溫度를 20°C와 60°C로 할 때 經時的 溫度上昇勾配를 測定하였고, 一定한 時間동안에 上昇溫度值를 求하여 式 (6)에 代入, 熱傳導度를 求하였으며, 그中 代表的인 食品인 쌀밥, 두부, 메밀묵에 對한 測定

**Table 2. The temperature changes at the center of cylindrical cell with cooked rice, soybean curd and buckwheat mook at the initial temperature of 20°C and 60°C**

Heating time (min)	Cooked rice		Soybean curd		Buckwheat mook	
	20°C	60°C	20°C	60°C	20°C	60°C
10	27.2	72.8	23.4	64.5	33.8	75.4
20	29.9	75.0	24.9	66.4	36.0	77.8
30	31.3	76.4	26.5	67.2	37.5	78.9
40	32.0	77.4	26.8	67.6	38.2	79.3
50	32.3	77.7	27.8	67.8	39.1	79.5
60	33.2	78.0	28.0	68.0	39.2	79.8

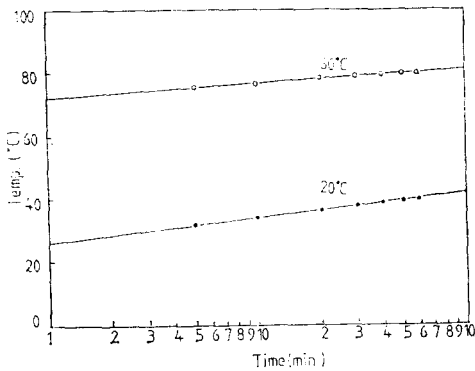
Current : 0.643 amp. and 0.675 amp. at 20°C and 60°C, respectively for cooked rice.

내용을 보면 Table 2 와 같다.

이것을 加熱時間에 따라 溫度變化의 代數値로 作圖 하면 Fig. 6, 7 및 8 과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 溫度는 直線的으로 上昇하였으며 直線의 기울기는 測定溫度를 달리해도 비슷하였다. 그림에서  $\ln(t_1/t_2)$  과  $(T_2 - T_1)$  을 읽어 式(6)에 代入하여 熱傳導度를 算出할 수 있는데, 中 한 例로 쌀밥의  $k$  값을 다음과 같이 算出하였다.

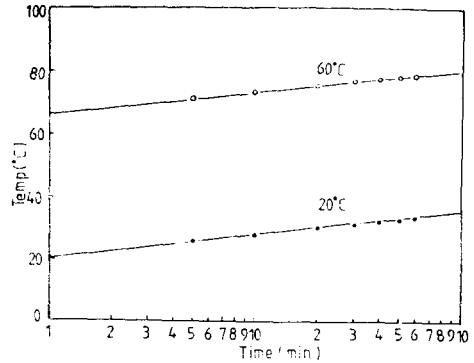
$$k = \frac{(0.643)^2 \times 40 \times \ln(40/10)}{4\pi(37.2 - 32.0)} = 0.3801 \text{ J/m}\cdot\text{s}\cdot^\circ\text{C}$$

또는  $0.327 \text{ kcal/m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$

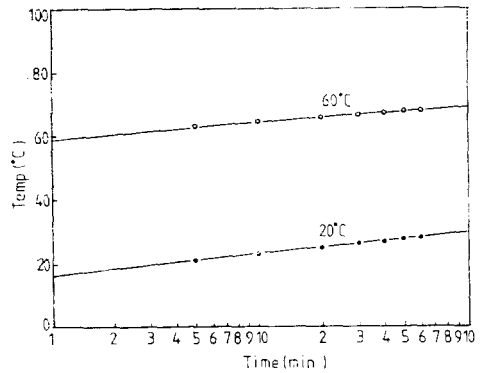


**Fig. 6. Time-temperature relationship of thermal conductivity test for cooked rice**

이때 可變抵抗器를 通하여 흐르는 電流의 세기는 0.60~0.70 암페어로서 약간씩 차이가 있었으며 그 差異는 計算할 때 矯正하였다. 그 結果 Table 6에서 보는 바와 같이 쌀밥은 20°C에서  $0.327 \text{ kcal/m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$ , 60°C에서  $0.376 \text{ kcal/m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$ 였고, 두부는 0.426, 0.458, 메밀묵은 0.315, 0.358 이었으며, 同一食品에서 初期溫度가 높으면 熱傳導度도 높음을 알 수 있다. 이



**Fig. 7. Time-temperature relationship of thermal conductivity test for soybean curd**



**Fig. 8. Time-temperature relationship of thermal conductivity test for buckwheat mook**

와같은 傾向은 Quash 等<sup>(42)</sup>의 非凍結食品의 研究結果와 一致하였다. 또한 Annamma<sup>(43)</sup>의 報告에 依하면 熱傳導度는 溫度와 比例關係를 갖고 있을 뿐만 아니라 水分含量에 따라서도 많은 影響을 받고 있다는 報告와 一致하였다.

**熱擴散度**

熱擴散度는 式(14)에 依해 算出하였는데, 初期溫度가 20°C 일 때 一定한 加熱速度(A)에 따른 表面溫度( $T_R$ )와 中心溫度( $T_0$ )의 變化를 보면 Table 3과 같다. 여기서  $(T_R - T_0)$ 가 一定하게 나타나는 때를 確認하기爲하여 經時的 溫度變化를 그림으로 나타내었는데, 쌀밥, 두부, 메밀묵에서 보면 Fig. 9, 10 및 11과 같다.

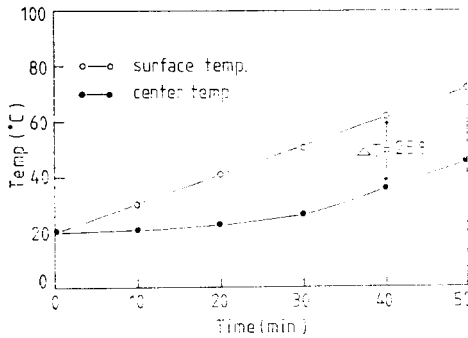
그림에서 보는 바와 같이 對象食品 모두가 表面溫度와 中心溫度의 差異가 一定한 傾向을 나타내기 始作한 것은 30分後이며 40分後부터는  $\Delta T$ 가 一定하였다. 이때  $\Delta T$ 는 쌀밥에서 25.8°C, 두부 21.2°C, 메밀묵이 32.5°C로 메밀묵이 가장 높았다. 이들 資料로부터 熱擴散度를 算出하는 例를 보면 다음과 같다. 즉 쌀밥의 경우  $A=0.912 \text{ }^\circ\text{C/min}$  이었고,  $T_0=39.6^\circ\text{C}$ ,  $T_R=62.4$

**Table 3. The temperature changes at the center and surface of cylindrical cell with cooked rice, soybean curd and buckwheat mook at the initial temperature of 20°C**

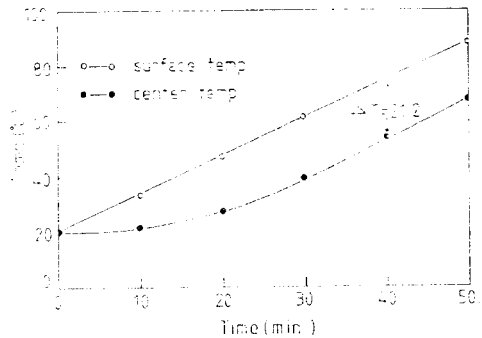
(Unit : °C)

Heating time (min)	Cooked rice		Soybean curd		Buckwheat mook	
	Center	Surface	Center	Surface	Center	Surface
0	20	20	20	20	20	20
10	20.2	29.8	21.7	33.4	20.2	32.2
20	23.5	41.0	27.8	47.6	22.3	45.3
30	27.4	50.7	40.1	61.7	26.1	57.6
40	39.6	65.4	53.8	75.0	38.2	70.7
50	45.8	72.2	66.3	87.6	50.8	82.3

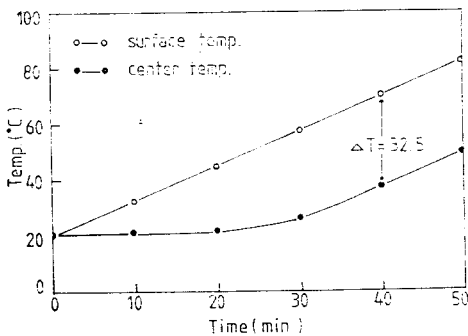
Heating rate (A) : 0.912°C/min, 0.906°C/min and 0.902°C/min for cooked rice, soybean curd and buckwheat mook, respectively



**Fig. 9. Time-temperature relationship of the thermal diffusivity test for cooked rice**



**Fig. 11. Time-temperature relationship of the thermal diffusivity test for buckwheat mook**



**Fig. 10. Time-temperature relationship of the thermal diffusivity test for soybean curd**

°C 이었으므로  $\Delta T = 25.8^\circ\text{C}$  이다.

따라서 위의 수치를 식(14)에代入하여 다음과 같이 열확산도를 얻었다.

$$\alpha = \frac{0.912 \times (2.82)^2}{4 \times 25.8} = 0.0703 \text{ cm}^2/\text{min}$$

쌀밥의 경우와 같이測定된各種食品의  $\alpha$  값은 Table 4에서와 같이 20°C에서 두부는  $0.0850 \text{ cm}^2/\text{min}$ , 메밀묵은  $0.0552 \text{ cm}^2/\text{min}$ 이었다.

韓國固有食品과比較할 수 있는類似한食品의熱擴散도는 거의報告된바 없으나 고추장의 경우<sup>(37)</sup>  $0.1 \text{ cm}^2/\text{min}$ 로本實驗 값과 비슷한傾向을 나타냈다. 감자는  $0.1010 \text{ cm}^2/\text{min}$ , 사과는  $0.09778 \text{ cm}^2/\text{min}$ 로서熱擴散도는食品의物理的 및化學的性質에依해 많은影響을 받는데<sup>(43)</sup> 특히密度, 比熱, 熱傳導도와函數關係를 나타내면式(8)과 같다. 現在 알려져 있는大部分의食品의熱擴散도는이式에依해算出된 것이며 Table 5는熱擴散도의實測値와式(8)에 의한計算値와를比較한結果이다. 表에서 나타난 바와같이測定値와計算値間에는약간의差異를 나타내고 있는데, 두부의 경우測定値가  $0.0850 \text{ cm}^2/\text{min}$ , 計算値가  $0.0823 \text{ cm}^2/\text{min}$ 로, 이때差異는  $0.0027 \text{ cm}^2/\text{min}$ 이고, 殘率은 3.18%였으며, 測定對象食品全體平均殘率은 1.655%로서 높은附合도를 나타냈다. 이와같은結

果는 密度, 比熱, 熱傳導度 및 熱擴散度를 各各 測定 할 때 誤差의 範圍가 매우 낮았다는 것을 立證하는 것으로 穀物에서 測定側와 計算值間을 比較한 것<sup>(6)</sup>보다 오히려 높게 나타났다.

**Table 4. Thermal properties of some Korean foods**

Food	Temperature (°C)	Specific heat (kcal/kg·°C)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Thermal conductivity (kcal/m·h·°C)	Thermal diffusivity (cm <sup>2</sup> /min)
Cooked rice	20	0.715	1.148	0.327	0.0703
	60	—	—	0.376	0.0802
Kimchi	20	0.831	1.056	0.432	0.0791
	60	—	—	0.482	0.0942
Soybean curd	20	0.828	1.042	0.426	0.0850
	60	—	—	0.458	0.0938
Kochujang	20	0.613	1.232	0.373	0.0877
	60	—	—	0.415	0.0925
Fermented soybean paste	20	0.707	1.243	0.357	0.0667
	60	—	—	0.423	0.0786
Chungkookjang	20	0.606	1.217	0.342	0.0748
	60	—	—	0.404	0.0860
Mungbean mook	20	0.805	1.132	0.304	0.0518
	60	—	—	0.344	0.0648
Buckwheat mook	20	0.818	1.112	0.315	0.0552
	60	—	—	0.358	0.0676
Acorn mook	20	0.856	1.088	0.368	0.0692
	60	—	—	0.413	0.0767
Fish meat paste	20	0.662	1.194	0.312	0.0669
	60	—	—	0.348	0.0718
Soybean curd residue	20	0.800	1.054	0.415	0.0841
	60	—	—	0.437	0.0828
Salted wild sesame leaf	20	0.842	1.064	0.451	0.0829
	60	—	—	0.475	0.0856

以上과 같이 本實驗을 通하여 아직까지 究明되지 않은 몇가지 韓國食品의 熱特性을 測定하였는바, 調査對象에 包含된 12種의 韓國食品은 그 大部分이 半固體狀態로서, 外國에서 이미 報告된 이와 類似한 成分을 가진 各種食品의 熱特性値와 비슷한 값을 나타내었다. 그러나 本 실험에서는 시료를 잘게 부수어 측정하였기 때문에 김치, 깻잎 등 섬유소 함량이 높은 식품의 섬유소 방향성에 따른 열전도도의 차이는 고려되지 않았으며 이점에 대하여는 앞으로 더 연구되어야 할 것이다. 本實驗에서의 測定方法으로는 간장과 같은 液狀食品의 測定에는 適用할 수 없고, 따라서 對象食品에 制限은 있으나 測定裝置를 쉽게 製作하여 使用할 수 있다는 長點을 갖고 있다. 따라서 本研究는 많은 韓國

**Table 5. Comparison of the measured and calculated thermal diffusivity of some Korean foods**

Food	Thermal diffusivity (cm <sup>2</sup> /min)		Residual	Residual (%)
	Measured	Calculated by Eq. (8)		
Cooked rice	0.0703	0.0664	0.0039	5.5477
Kimchi	0.0791	0.0820	-0.0029	-3.6662
Soybean curd	0.0850	0.0823	0.0027	3.1764
Fermented soybean paste	0.0877	0.0823	0.0054	6.1574
Chungkookjang	0.0667	0.0667	-0.0010	-1.4993
Mungbean mook	0.0748	0.0715	0.0033	4.4118
Buckwheat mook	0.0578	0.0556	0.0022	3.8062
Acorn mook	0.0552	0.0577	-0.0025	-4.5290
Fish meat paste	0.0682	0.0658	0.0024	3.5290
Soybean curd residue	0.0669	0.0658	0.0011	1.6442
Salted wild sesame leaf	0.0841	0.0820	0.0021	2.4970
	0.0829	0.0839	-0.0010	-1.2062
Mean			0.0013	1.6549

食品中 그 一部分의 熱特性을 測定하였으며, 第2報에서는 各 成分組成을 各各 달리한 模型食品의 熱特性을 測定하여 그 構成成分과 熱特性値와의 關係를 究明하고자 한다.

要 約

食品製造中 加熱 및 冷却 等에 主要한 因子가 되며 熱處理裝置를 設計하는데 基本資料가 되는 食品의 熱傳導도와 熱擴散도를 測定할 수 있는 裝置를 製作하여 아직까지 調査된바 없는 韓國食品의 熱特性을 測定하였는 바, 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 두부를 비롯한 12種의 韓國食品의 比熱을 測定한 結果, 도토리묵이 0.856 kcal/kg·°C 로 가장 높았고, 청국장이 0.606 kcal/kg·°C 로 가장 낮았다.
2. 熱傳導도는, 初期溫度 20°C 에서, 깻잎이 0.451 kcal/m·h·°C 로 가장 높았고, 녹두묵이 0.304 kcal/m·h·°C 로 가장 낮았으며, 이들의 熱傳導도는 測定溫度가 높을수록 높은 값을 보였다.
3. 熱擴散도는 20°C 에서 고추장이 0.0877 cm<sup>2</sup>/min 로 가장 높았고, 녹두묵이 0.0518 cm<sup>2</sup>/min 로 가장 낮았으며 溫度가 높을수록 높은 값을 나타냈다. 熱傳導度, 比熱, 密度로부터 算出된 計算値와 測定値間의 誤差는 殘與率이 1.655%로 높은 附合度를 나타냈다.



## 記 號

$A$  = Linear rate of heating, °C/min  
 $C_{1,2}$  = Arbitrary constants,  
 $C_p$  = Specific heat at constant pressure, kcal/kg·°C  
 $C_s$  = Specific heat of sample, kcal/kg·°C  
 $C_w$  = Specific heat of water, kcal/kg·°C  
 $H_c$  = Heat capacity of calorimeter flask, kcal/°C  
 $I$  = Current, ampere  
 $k$  = Thermal conductivity, kcal/m·h·°C  
 $q$  = Rate of heat transfer per unit length, kcal/h  
 $R$  = Radius of a cylindrical cell, cm  
 $r$  = Cylindrical coordinate  
 $T$  = Temperature at arbitrary time, °C  
 $t$  = Time, min  
 $T_i$  = Initial temperature, °C  
 $T_m$  = Temperature of mixture, °C  
 $T_0$  = Temperature at the center of a cylindrical cell, °C  
 $T_r$  = Temperature at the surface of a cylindrical cell, °C  
 $T_s$  = Temperature of sample, °C  
 $\Delta T$  = Temperature difference, °C  
 $\Delta T_c$  = Difference between cold water temperature and final equilibrium temperature, °C  
 $\Delta T_f$  = Initial flask temperature minus equilibrium temperature of mixture, °C  
 $\Delta T_h$  = Difference between initial temperature of hot water and equilibrium temperature of mixture, °C  
 $x, y, z$  = Rectangular coordinates  
 $W_c$  = Weight of cold water, g  
 $W_h$  = Weight of hot water, g  
 $W_s$  = Weight of sample, g  
 $W_w$  = Weight of water, g  
 $Z$  = Resistance per unit length of heating wire, ohms/m  
 $\alpha$  = Thermal diffusivity, cm<sup>2</sup>/min  
 $\theta$  = Cylindrical coordinate  
 $\rho$  = Density, g/cm<sup>3</sup>

## 文 獻

1. Jasen, A. C.: *Dechema Monographien*, **63**, 21 (1969)
2. Treagus, M. J. and Elson, C. R.: *Sci. Tech. Surveys*, Leatherhead Food R.A., **106**, 29 (1978)
3. Jordan, K. A. and Dale, A. C.: *Trans ASAE*, **6**, 11 (1963)
4. Suter, D. A., Agrawal, K. K. and Clary, B. L.: *Trans. ASAE*, **18**, 370 (1975)
5. Michael, P. H.: *J. Food Sci.*, **44**, 435 (1979)
6. Disney, R. W.: *Canadian J. Res.*, **31**, 229 (1973)
7. Kern, D. Q.: *Process Heat Transfer*, McGraw-Hill (1974)
8. Kunii, D. and Smith, J. M.: *AI Ch E*, **6**, 71 (1960)
9. Chuma, Y., Murata, S. and Iwamoto, M.: *J. Jap. Agr. Mach.*, **31**, 45 (1968)
10. James, E. H. and Sunderland, J. E.: *Food Technol.*, **21**, 1143 (1967)
11. Saravacos, G.: *Food Technol.*, **19**, 193 (1965)
12. George, D. S.: *J. Food Sci.*, **30**, 773 (1965)
13. Duncan, G. A., Bunn, J. M. and Henson, W. H.: *Trans. ASAE*, **9**, 36 (1966)
14. Miller, H. L. and Sunderland, J. E.: *Food Technol.*, **17**, 124 (1963)
15. Tsederberg, N. V.: *Thermal Conductivity of Gases and Liquid*, The M.I.T. Press Cambridge Mass. (1965)
16. Hougen, J. Q.: *Chem. Eng. Data Series*, **2**, 51 (1957)
17. Woolf, J. F. and Sibbitt, W. L.: *Ind. Eng. Chem.*, **46**, 1947 (1954)
18. Gentzler, G. L.: *J. Food Sci.*, **37**, 554 (1972)
19. Lentz, C. P.: *Food Technol.*, **15**, 243 (1961)
20. Poppendick, H. F., Randall, R. R. and Murphy, J. R.: *Cryobiol.*, **3**, 318 (1966)
21. Ball, C. O. and Olson, F. C.: *Sterilization in Food Technol.*, McGraw-Hill (1957)
22. Evans, H. L.: *Food Technol.*, **6**, 276 (1958)
23. Held, E. F. M.: *Appl. Sci. Res.*, **A3**, 237 (1952)
24. Powell, R. W.: *Adv. in Phys.*, **7**, 276 (1958)
25. Vos, B. H.: *Appl. Sci. Res.*, **A5**, 425 (1955)
26. Hill, J. E., Leitmann, J. D. and Sunderland, J. E.: *Food Technol.*, **21**, 8 (1967)
27. Abramam, B.: *Adv. in Food Res.*, **20**, 218 (1973)
28. Jakob, M.: *Heat Transfer*, John Wiley (1957)
29. Hurwicz, H. and Tischer, R. G.: *Food Res.*, **17**, 518 (1952)
30. Hooper, F. C. and Chang, S. C.: *Trans. ASHRAE*, **59**, 493 (1953)

31. Hooper, F.C.: *Trans. ASHRAE*, 1488(1951)
32. Martin, R.E.: *Forest Product J.*, **13**, 419 (1963)
33. Pelanne, C.M. and Bradley, C.B.: *Material Res. and Std.*, 549 (1962)
34. Dickerson, Jr. R. W.: *Food Technol.*, **19**, 880 (1965)
35. Carlslaw, H. S. and Jaeger, J. C.: *Conduction of Heat in Solids*, Oxford Univ. Press (1959)
36. Carlsaw, H. S. and Jaeger, J. C.: *Operational Methods in Appl. Math.*, Doner Pub. (1963)
37. Chun, J. K., Mok, C. K. and Chang, K. S.: *Korean J. Food Sci. Technol.*, **11**, 157 (1979)
38. Chun, J. K. and Mok, C. K.: *Unpublished Data*, Dept. of Food Tech., Seoul National Univ. (1980)
39. Yamada, T.: *J. Jap, Agr. Chem.*, **46**, 665 (1972)
40. Hampton, W. F. and Mennie, J. H.: *Can. J. Res.*, **10**, 452 (1934)
41. Wiallm, M. M. and Sunderland, J. E.: *Food Technol.*, **21**, 90 (1967)
42. Qashou, M. S., Vachon, R. I. and Touloukian, Y. S.: *ASHRAE, Res. Rep.*, 2264 (1972)
43. Annamma, T. T. and Rao, C. V. N.: *Fishery Technol.*, **11**, 28 (1974)