

豆腐의 傳熱物性 및 有效熱傳導度の 推定

1. 豆腐의 傳熱物性的의 測定

孔 在 烈

釜山水産大學 冷凍工學科

Thermophysical Properties of the Soybean Curd and Prediction of its Thermal Conductivity

1. Measurement of Thermophysical Properties of the Soybean Curd

Jai-Yul KONG

Department of Refrigeration and Food Preservation Engineering, National Fisheries University of Busan, Namgu Busan, 608 Korea

The specific heat capacity and density of soybean oil and soy protein composing of the soybean curd were measured between 30°C and -40°C.

The thermal conductivity of soybean oil was measured to be 0.160 and 0.140, $W/m \cdot K$ at unfrozen and frozen states, respectively.

The effective thermal conductivity of the soybean curd depended not only on its water content but also on its fat and protein contents.

序 論

食品의 傳熱에는 密度, 比熱容量, 熱傳導度(또는 熱擴散率)의 3 物性이 關與한다. 이 중 i) 比熱容量과 密度는 質量과 熱量 및 體積이라는 保存量만이 關與하는 量의 物性이기 때문에 食品과 같은 不均質 混合系에 있어서도 系全體의 有效比熱과 密度는 各成分의 比熱 및 密度와의 사이에 加成性이 成立한다. 그러나 ii) 熱傳導度(또는 熱擴散率)는 傳熱의 速度를 결정지어주는 質的 物性이기 때문에 食品과 같은 不均質 混合系의 有效熱傳導度(또는 有效熱擴散率)는 系內의 傳熱機構에 따라서 變化하고, 系全體의 有效熱傳導度(또는 有效熱擴散率)와 系의 構成成分의 熱傳導度(또는 熱擴散率)間에는 加成性이 成立하지 않는다¹⁻⁷⁾.

食品의 有效比熱容量과 各成分의 比熱容量間에는

加成性이 成立하므로,

$$\left. \begin{aligned} C_p &= \sum_{i=1}^n C_{pi} X_i^w \\ \text{단, } \sum_{i=1}^n X_i^w &= 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 1$$

食品中에는 특히 물(水)의 比熱容量이 크기 때문에 式 1에 있어서 水分含量이 큰 범위에서는 他의 成分 比熱容量은 거의 無視될 수도 있다. Siebel⁸⁾은 未凍 結食品에 대하여 다음과 같은 實驗式을 提案했다.

$$C_p = 1.0X_w^w + 0.2X_s^w = 0.2 + 0.8X_w^w \quad [kcal/kg \cdot ^\circ C] \dots\dots\dots 2$$

Riedel⁹⁾은 水分含量 25% 以上의 畜·魚肉에 대하여 式 3을 提案하였고,

$$C_p = 0.4 + 0.6X_w^w [kcal/kg \cdot ^\circ C] \dots\dots\dots 3$$

Charm과 Moody¹⁰⁾는 脂肪의 比熱容量을 他의 固形成分과 區別하여 式 4를 提案한 바 있다.

$$C_p = 1.0X_w^w + 0.5X_f^w + 0.3X_s^w [kcal/kg \cdot ^\circ C] \dots\dots 4$$

食品의 有効密度와 各 成分間에도 加成性이 成立하므로,

$$\left. \begin{aligned} \rho_m &= \sum_i^n \rho_i X_i^v \\ \text{단, } \sum_i^n X_i^v &= 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 5$$

式 5를 利用하여 食品 混合系의 密度를 推定할 수 있다.

畜·魚肉, 牛乳製品, 野菜, 果實 및 其他食品에 관한 熱傳導度의 測定値는 많이 있다^{11~14)}. Woodams와 Nowrey¹⁵⁾, Kostaropoulos¹⁶⁾, Morley¹⁷⁾ 및 Qashou *et al.*¹⁸⁾ 등은 食品의 熱傳導度에 관한 文獻을 整理하여 發表했으며, 또한 Riedel⁹⁾은 砂糖液, 果實쥬스 및 牛乳와 같은 均質流體 食品의 有効熱傳導度를 推算하는 다음과 같은 實驗式을 提案했다.

$$\begin{aligned} \lambda_e &= (486 + 1.55T - 0.0005T^2) \\ & (1 - 0.0054X_s^w) \cdot 10^{-3} \\ & [kcal/m \cdot h \cdot ^\circ C] \dots\dots\dots 6 \end{aligned}$$

式 6中, T는 온도 [°C], X_s^w는 固形成分의 重量分率이다. Cuevas와 Cheryan¹⁹⁾은 未凍結狀態의 固形成分 30% 以內의 野菜, 果實쥬스, 砂糖液, 牛乳製品 等의 158個 食品의 有効熱傳導度가 표준편차 1% 범위내에서 6式이 有効함을 確認한 바 있다.

Sweat²⁰⁾는 Spells²¹⁾가 生體流體에 대하여 얻은 데이터로부터 式 7과 같은 相關式을 提案했다.

$$\lambda_e = 0.056 + 0.57X_w^w [W/m \cdot ^\circ C] \dots\dots\dots 7$$

또한, Sweat²⁰⁾는 畜·魚肉 等의 有効熱傳導度 측정치中에서 水分含量과 溫度가 기재된 231個 데이터를 利用하여 有効熱傳導度를 추정하는 11個의 近似式을 提案했으나, 그 中 實用性이 있다고 판단되는 대표적인 式은 未凍結相의 경우 式 8, 凍結相의 경우 式 9와 같다.

$$\begin{aligned} \lambda_e &= 0.080 + 0.0052W [W/m \cdot ^\circ C] \dots\dots\dots 8 \\ & [\text{표준편차 } 8.6\%] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_e &= -0.26 + 0.018W - 0.013T [W/m \cdot ^\circ C] \dots\dots\dots 9 \\ & [\text{표준편차 } 9.4\%] \end{aligned}$$

윗 式에서 W는 무게 [%], T는 온도 [°C]이다. 式 7, 8 및 9는 모두 λ_e의 값이 여러 性分中 水分含量만을 變數로 하고 있으므로 그 推定値는 0.3~0.55 [W/m·°C] (>0°C) 또는 0.6~1.7 [W/m·°C] (<0°C)의 範圍를 제시한 느낌 마저든다.

Chen과 Heldman²²⁾은 건조우유의 有効熱傳導 계

산을 위하여 式 10을 提案했다.

$$\begin{aligned} \lambda_e &= 0.2851 - 0.000376T + 0.0107W \\ & [Btu/h \cdot ft \cdot ^\circ F] \dots\dots\dots 10 \end{aligned}$$

단, T: [°F], W: 무게 [%, wet basis]

以上과 같이 食品의 比熱容量과 密度는 比較的 該 데이터가 대강 整理·把握되어 있으나 熱傳導度의 경우에는 그렇지가 못하다. 食品의 有効熱傳導度를 나타낸 式 6~10에서 보는 바 같이 式 6은 流體食品인 쥬스類, 式 7~9는 肉類, 式 10은 粉乳에 그 使用이 限定되어 있으나 그中에도 쥬스類의 λ_e의 추정에는 式 7의 有効性은 優秀하다 하겠다. 그러나 水分含量만을 變數로한 다른 式들을 利用하여 一般 固體(半固體)食品의 λ_e를 推定하는 것은 不可하다고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 食品의 構成成分中에서 蛋白質과 炭水化合物의 固有熱傳導度를 測定(推定)하여 一般 固體食品의 有効熱傳導度의 추정법을 確立함을 目標로 하고, 于先 大豆蛋白質을 組成成分으로 하고있는 豆腐의 各構成成分들의 傳熱物性을 測定하였기에 그 結果를 報告한다.

試料 및 方法

大豆油 및 大豆蛋白質의 比熱容量 測定²³⁾

試料: 大豆油는 美國產 大豆(試料豆腐製造時 使用品과 同一)을 ether로 抽出한 것을 50~60ml를 供試했다.

裝置: DTA熱 leak走査型 熱量計 SSC-540(第2 Seikosa)을 사용했으며 그 概略圖는 Fig. 1에 表示했다.

方法: 熱量計의 爐體의 溫度를 -55°C에 保持하여 熱平衡에 도달한 후에 0.5°C/min의 速度로 溫度를 올려서 一定溫度에 維持시켜 熱平衡에 도달한 點에서 얻어진 DTA곡선과 基線間의 面積으로부터 試料의 熱容量을 算出했다. 試料容器는 密封하고 對照側에는 Al₂O₃를 썼다. 基準物質로서는 n-heptane과 물(水)을 使用하여 다음 式으로 試料의 比熱容量을 얻었다.

$$C_s = \frac{A_s - A_{se}}{A_b - A_{be}} \cdot C_b \dots\dots\dots 11$$

- 式 11中의 C_s: 試料의 比熱容量[kJ/kg·K]
- C_b: 標準物質의 比熱容量[kJ/kg·K]
- A_s: 試料의 thermogram의 面積[m²]
- A_{se}: 試料를 넣을 empty cell의 thermo-

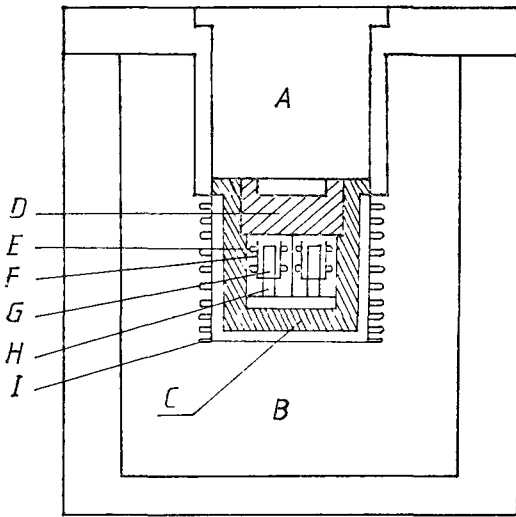


Fig. 1. Schematic cross section of scanning calorimeter.

- A: Teflon lid
- B: Insulation
- C: Aluminum heat sink
- D: Aluminum lid
- E: Calibration-heater
- F: Aluminum holder
- G: Silver vessel
- H: Thermocouple-plate
- I: Temperature control heater

gram의 面積[m^2]

A_b : 標準物質의 thermogram의 面積[m^2]

A_{bc} : 標準物質을 넣을 empty cell의 thermogram의 面積[m^2]

測定精度的 檢討: 基準物質로 使用한 *n*-heptane의 20°C의 測定値는 2.219[kJ/kg·K], 2.213[kJ/kg·K]로 文献値 2.219[kJ/kg·K]과 잘 一致했다.

乾燥狀態의 大豆蛋白質(dry soyprotein)

試料: 同一한 美國産 大豆를 冷水로 抽出한 것을 凍結乾燥하여 五酸化磷을 脫濕劑로 하는 眞空狀態의 desicator中에 3주간 방치 한것을 10~20mg 供試했다. 또한 大豆蛋白質中の 乾燥度を 再確認할 目的으로 Karl Fischer法에 依해 水分含量을 測定했으나 그 誤差는 0.1% 程度였다.

裝置 및 方法: 前述한 大豆油의 比熱容量을 測定한 同一한 裝置와 方法으로 乾燥 大豆蛋白質의 比熱容量을 測定했다.

濕潤狀態의 大豆蛋白質(wet soyprotein)

乾燥狀態의 試料를 使用하여 比熱容量을 測定할 경우 微量의 試料를 使用하므로 試料의 均一性(homogeneous)의 保證이 없기 때문에 100g 程度의 多量의 濕潤狀態의 試料를 使用하는 方法도 併用했다.

試料: 水分含量 79~81% [wt.]의 大豆蛋白質 4點을 供試했다.

裝置: Dewar flask를 使用한 簡易 熱量計를 製作 使用했으며 그 概略圖는 Fig. 2에 表示했다.

測定方法: 裝置의 熱容量 및 試料의 比熱容量은 다음과 같은 假定下에 算出했다.

- 1) 測定동안에는 熱의 出入은 없다.
- 2) 물(水) 또는 試料를 注入 操作을 할 때 溫度變化는 일어나지 않는다.
- 3) 測定中の 攪拌에 의한 發熱은 考慮치 않는다.

裝置의 熱容量은 물相當量으로 算出했다.

裝置의 熱容量의 算出: 相當期間 室溫에 放置한 물(水) 200~300ml(W_i)를 注入, 攪拌하여 系의 溫

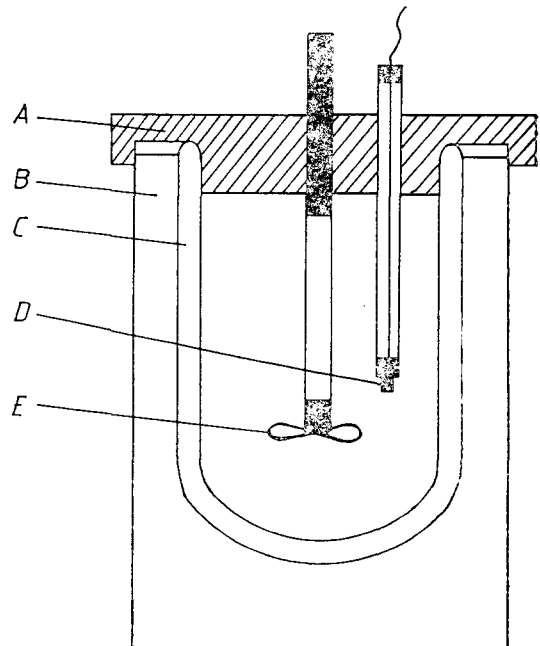


Fig. 2. Schematic diagram of simple calorimeter.

- A: Styro-foam lid
- B: Insulation
- C: Dewar flask
- D: Thermocouple
- E: Stirrer

도가 平衡에 도달하면 (θ_i), 0.5°C 또는 $4^\circ\text{C}(\theta_2)$ 의 물(水) 100ml (W_{add})를 注入한 후 變化한 溫度(θ_3)를 測定하면 다음식이 成立하고 裝置의 物相當量(熱容量) H_a 가 算出된다.

$$(W_i + H_a) \cdot \theta_i + W_{add} \cdot \theta_2 = (W_i + H_a + W_{add}) \cdot \theta_3 \dots\dots\dots 12$$

式 12에서 算出한 $H_a = 19(\text{g})$ 이다. 또한 熱量計에 試料 W^s (g)를 注入했을 때의 熱收支는 次式으로 表現할 수 있다.

$$C^s \cdot W^s (\theta_s - \theta_T) = H_a (\theta_T - \theta_i) + W_i (\theta_T - \theta_i) \dots\dots 13$$

물(水)을 包含한 大豆蛋白質의 比熱容量 C^s 는 물(水)과 大豆蛋白質의 各各의 比熱容量과 重量分率을 써서 式 13으로 부터 다음 式과 같이 表現할 수 있다.

$$C^s = 4.19X_w^w + C_p^p X_p^p \dots\dots\dots 14$$

式 13과 式 14로 부터 얻은 式 15를 이용하여 大豆蛋白質의 比熱容量, C_p^p 를 求할 수 있다.

$$C_p^p = \frac{1}{X_p^p} \left\{ \frac{H_a(\theta_T - \theta_i) + W_i(\theta_T - \theta_i)}{W^s(\theta_s - \theta_T)} - 4.19X_w^w \right\} \dots\dots\dots 15$$

단, θ_s : 試料의 溫度[°K]
 θ_i : 注入한 물(水)의 溫度[°K]
 θ_T : 試料를 넣은 후 平衡에 도달했을 때의 溫度[°K]

有効(平均)密度의 測定^{24, 25)}

大豆油의 密度는 pycnometer를 利用, 室溫과 $-10 \sim -30^\circ\text{C}$ 間에 各各 測定했다.

大豆蛋白質의 경우 또한 室溫에서 水分含量 40~92%의 試料(水-大豆蛋白質系)를 供試하여 그 成分混合系의 密度를 측정하여 外挿法에 의해 水分含量 0%인 경우의 密度를 大豆蛋白質의 密度로 取했다.

有効熱傳導度의 測定

成分이 相異한 3種의 豆腐의 有効熱傳導度 λ_e 는 1次元 非定常半無限大 熱傳導法에 의해 有効熱擴散率 K_e 를 測定, 다음 式으로 부터 求했다. K_e 의 測定에 關한 것은 前報²⁶⁾에 發表한 바 있으므로 具體的인 것은 생략한다.

$$\lambda_e = K_e \cdot C_{pm} \cdot \rho_m \times 1000 \dots\dots\dots 16$$

여기서,

$$C_{pm} = C_{p,w} X_w^w + C_{p,p} X_p^p + C_{p,F} X_F^F \dots\dots\dots 17$$

$$\rho_m = \rho_w X_w^w + \rho_p X_p^p + \rho_F X_F^F \dots\dots\dots 18$$

式 17 및 18 中の 重量 및 體積分率과의 關係次式은 다음과 같다.^{2,3)}

$$X_w^w = \frac{(X_w^w / \rho_w)}{(X_w^w / \rho_w) + (X_p^p / \rho_p) + (X_F^F / \rho_F)} \dots\dots 19$$

結果 및 考察

1. 比熱容量의 測定

大豆油 및 乾燥狀態의 大豆蛋白質의 比熱容量의 測定 結果를 Fig. 3에 表示했다. 주어진 溫度 範圍內에서 大豆蛋白質의 比熱容量은 溫度와 無關하게 거의 一定值를 나타냈으나 大豆油의 경우는 溫度에 依存함을 보여 주고 있다. -5°C 에서 相變化(phase transition)로 因한 潛熱의 影響으로 比熱容量이 peak를 나타내고 있다. 大豆油의 比熱容量의 溫度의 존성은 Riedel⁹⁾의 olive oil의 경우와 매우 비슷한 경향을 보여 주고 있다.

濕潤狀態의 大豆蛋白質(wet soy protein)의 比熱容量 測定 結果는 Table 1에서 보여주는 바와 같이

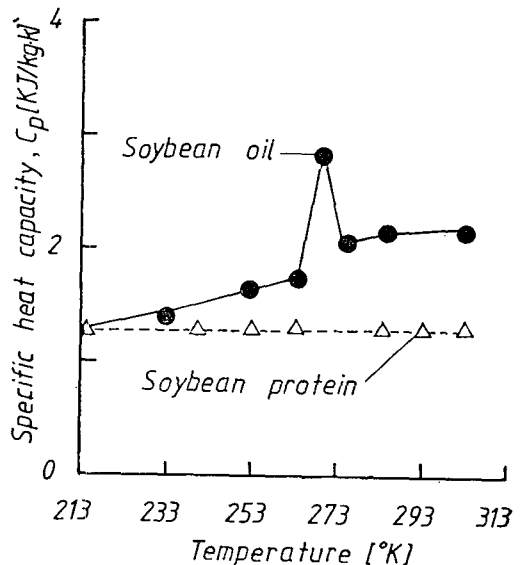


Fig. 3. Specific heat capacities of soybean oil and dry soyprotein at selected temperatures.

Table 1. Specific heat capacity of soybean protein calculated by Eq. 15

	X_w^w [-]	W^s [g]	W_t [g]	θ_i [°C]	θ_s [°C]	θ_T [°C]	C_p^p [kJ/kg·K]
Soybean protein	0.7813	103.36	200	22.60	2.96	17.06	1.25
	0.8141	105.84	200	22.73	3.01	16.69	1.26
	0.8014	99.72	200	22.92	3.06	17.37	1.27
Average							1.26

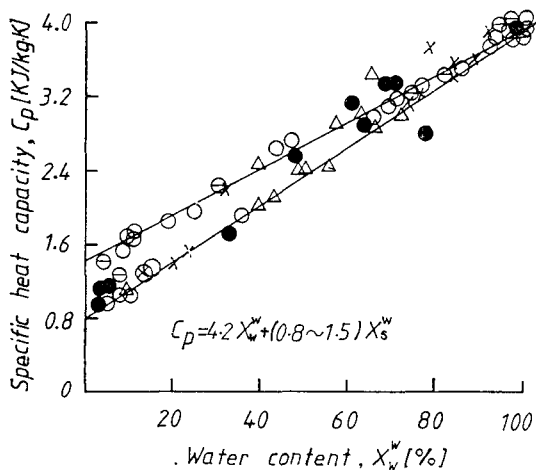


Fig. 4. Effect of water content on specific heat capacity of unfrozen foodstuffs.

- Vegetable
- △ Meats
- Dairy products
- × Fruits
- Miscellaneous

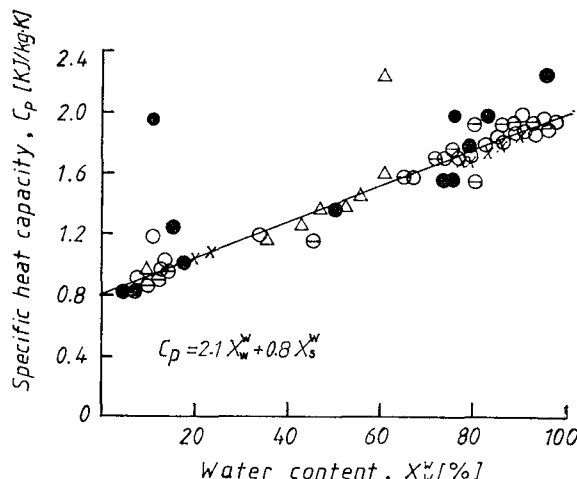


Fig. 5. Effect of water content on specific heat capacity of frozen foodstuffs.

- Vegetables
- △ Meats
- Dairy products
- × Fruits
- Miscellaneous

室溫에서 그값은 1.26 [kJ/kg·K]로 乾燥狀態의 結果와 同一值를 나타내고 있다. 또한, 一般食品의 比熱容量을 整理하는 意味에서 入手可能한 文献值를 整理 水分含量에 대해 plot한 것을 未凍結食品은 Fig. 4, 凍結食品은 Fig. 5에 나타냈으며 이들을 實驗式으로 表示하면,

未凍結食品의 경우 :

$$C_p = 4.2X_w^w + (0.8 \sim 1.5)X_s^w \dots\dots\dots 20$$

凍結食品의 경우 :

$$C_p = 2.1X_w^w + 0.8X_s^w \dots\dots\dots 21$$

단, $X_w^w + X_s^w = 1$

로 各各 나타난다. 式 20은 Siebel⁹⁾의 未凍結食品의 比熱容量에 대한 實驗式인 式 2와 거의 같은 값을 나타내고 있다. 食品組成 成分中 脂肪 또는 蛋白質의 含量이 他의 成分含量에 비해 無視 할 만큼 微小할 경우에는 式 20과 式 21은 매우 有用하다고 하겠

다.

2. 大豆蛋白質 및 大豆油의 密度

大豆蛋白質의 密度 測定 結果는 Fig. 6에 表示했다. 水分含量이 0%인 경우 外插法에 의해 1.34 [kg/m³]을 얻었다.

또한 式 5를 利用해서 水分含量 75~86% 間의 試料豆腐 密度를 구한 結果, 各各의 水分含量, $X_w^w = 85.8\%$, 79.06% , 75.18% 에 대해 混合系의 各各의 密度, $\rho_m = 1.034 \times 10^3$ [kg/m³], 1.050×10^3 , 1.083×10^3 이고 이에 對應하는 大豆蛋白質의 密度, $\rho_p = 1.30 \times 10^3$ [kg/m³], 1.31×10^3 , 1.42×10^3 로서 그 平均値, $\rho_p = 1.34 \times 10^3$ [kg/m³]로 나타났으며, 이 값은 Fig. 6의 結果와 잘 一致했다.

大豆蛋白質의 밀도의 測定 結果는 Bull과 Breese²⁴⁾의 specific gravity method에 의해 bovine albumin egg-albumin 및 methemoglobin의 密度, $\rho = 1.35$

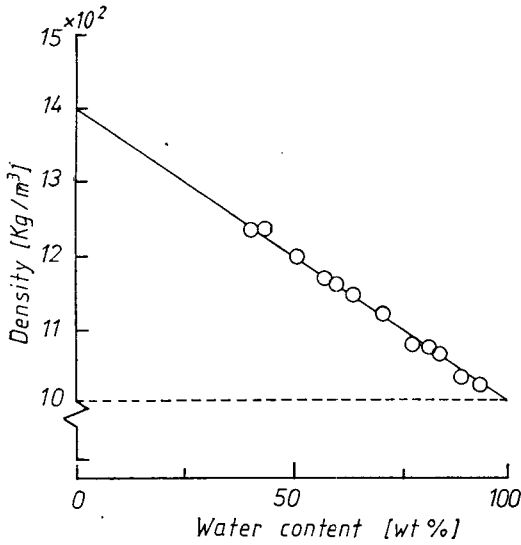


Fig. 6. Effect of water content on density of defatted soybean curd.

~1.30[kg/m³]의 값과 잘 일치하며, Berlin과 Pallansch²⁵⁾가 pycnometric method에 의한 몇개의 dried proteins (bovine serum albumin, casein 등)의 결과와도 잘 일치했다.

大豆油의 密度는 溫度 20~25°C의 未凍結狀態에서 $\rho_f=900$ [kg/m³], 溫度 -10~-20°C의 凍結狀態에서 $\rho_f=930$ [kg/m³]이었다. 大豆油의 경우 凍結狀態下에서 密度가 未凍結狀態보다 큰 것은 凍結에 의한 體積의 減少가 그 原因의 하나로 指摘될 수 있다.

3. 各種 豆腐(2成分系 및 3成分系)의 有效熱傳導度의 測定

2°C의 未凍結狀態에서의 脫脂豆腐, 全脂豆腐 및 混合豆腐의 有效熱傳導度 λ_e 의 값은 Fig. 7에, -10°C의 凍結狀態의 脫脂豆腐 全脂豆腐 및 混合豆腐의 有效熱傳導 λ_e 의 값은 Fig. 8에 各各 表示했다. 圖表에서 보는 바와같이 同一한 水分含量의 試料과 할 지라도 脂質含有 與否에 따라 λ_e 의 값이 달라지며, 또한 脂質含有의 試料일지라도 脂質 含有量에 따라 λ_e 값이 顯著히 달라진다는 事實을 보여 주고 있다.

脂質과 蛋白質의 비가 一定할 경우에는, λ_e 의 값은 水分含量에 依存하는 傾向은 一般 食品의 경우에 있어서 다른 研究者들의 結果와 同一하다. 以上の 結果에서 보는 바와같이 序論에서 引用한 各種 實驗式에서 보여주듯이 一般的으로 不均質系 食品의 有

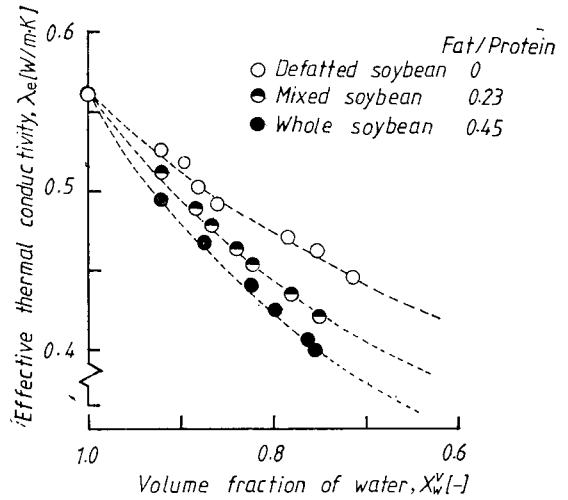


Fig. 7. Dependency of effective thermal conductivity of unfrozen soybean curd on water and fat contents.

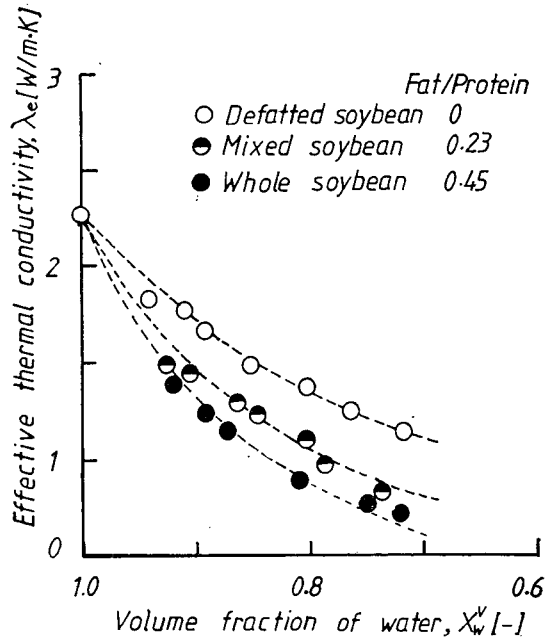


Fig. 8. Dependency of effective thermal conductivity of frozen soybean curd on water and fat contents.

效熱傳導度는 水分含量 또는 水分含量과 固形分만을 parameter로 하여 推定하고자 하는 試圖은 大端히 危險한 方法이라고 아니 할 수 없다.

要 約

1. 大豆蛋白質의 密度는 1300 [kg/m³]이고 大豆油의 密度는 未凍結狀態 (0~30°C)에서 930[kg/m³]이고, 凍結狀態 (-5~-40°C)에서는 900[kg/m³]이었다. 또 3成分系 豆腐의 密度를 나타내는 실험식,

$$\rho_m = 1.0 \cdot X_w^v + 1.30 \cdot X_p^v + 0.93 \cdot X_F^v$$

(未凍結狀態)

$$\rho_m = 0.92 \cdot X_w^v + 1.30 \cdot X_p^v + 0.90 \cdot X_F^v$$

(凍結狀態)

을 各各 얻었다.

2. 大豆蛋白質의 比熱容量은 溫度 30°C~-40°C의 사이에서 1.26[kJ/kg·K]로 一定했으나 大豆油의 경우는 同一 溫度域에서 1.60~2.10[kJ/kg·K]의 값을 나타냈다. 또한 3成分系 豆腐의 比熱容量을 나타내는 실험식,

$$C_{p,m} = 4.20 \cdot X_w^w + 1.26 \cdot X_p^w + 2.10 \cdot X_F^w$$

(未凍結狀態)

$$C_{p,m} = 2.00 \cdot X_w^w + 1.26 \cdot X_p^w + 1.60 \cdot X_F^w$$

(凍結狀態)

을 各各 얻었다.

3. 일반 食品의 比熱容量의 data를 정리한 결과 물과 고형분을 parameter로 다음과 같은 실험식을 얻었다.

$$C_p = 4.2 \cdot X_w^w + (0.8 \sim 1.5) \cdot X_s^w \text{ (未凍結狀態)}$$

$$C_p = 2.1 \cdot X_w^w + 0.8 \cdot X_s^w \text{ (凍結狀態)}$$

4. 3種의 豆腐의 有效熱傳導度는 水分의 含量이 增加함에 따라 增大하고 脂質 및 蛋白質의 含量이 增加함에 따라 有效熱傳導度는 減少하는 傾向을 보였다.

Nomenclature

C_p: specific heat capacity [kJ/kg·K] [kcal/kg·°C], if specified

T: temperature[°K] [°F], if specified

W: water content [%]

X^v: volume fraction [-]

X^w: weight fraction [-]

K: thermal diffusivity [m²/h]

λ: thermal conductivity [W/m·K] [Btu/h·ft·°F] or [kcal/m·h·°C], if specified

ρ: density [kg/m³]

Subscript and Upperscript

e: effective value

p: protein

i: i's component

s: solid

m: mean value

w: water

F: fat

文 獻

- 1) Kong, J. Y., O. Miyawaki and T. Yano. 1980. Effective thermal diffusivities of some protein gels. Agric. Biol. Chem. 44, 1905.
- 2) Yano, T., J. Y. Kong, O. Miyawaki and K. Nakamura. 1981. The "intrinsic" thermal conductivity of wet soy protein and its use in predicting the effective thermal conductivity of soybean curd. J. Food Sci. 46, 1357.
- 3) Kong, J. Y. 1981. Effect of components fraction on effective thermal conductivity and thermal diffusivity of foodstuffs. Bull. Nat. Fish. Univ. Busan 21(2), 71.
- 4) Kong, J. Y., O. Miyawaki, K. Nakamura and T. Yano. 1982. The "intrinsic" thermal conductivity of some proteins in relation to their average hydrophobicity: Analyses on gels of egg-albumin, wheat gluten and milk casein. Agric. Biol. Chem. 46(3), 789.
- 5) Kong, J. Y., O. Miyawaki, K. Nakamura and T. Yano. 1982. The "intrinsic" thermal conductivity of some wet proteins in relation to their hydrophobicity: Analysis on gelatin gels. Agr. Biol. Chem. 46(3), 783.
- 6) Kong, J. Y., S. Iibuchi, O. Miyawaki and T. Yano. 1982. The "intrinsic" thermal conductivity of some wet carbohydrates. Agric. Biol. Chem., in press.
- 7) Kong, J. Y., O. Miyawaki and T. Yano.

1982. Prediction of thermal conductivity for heterogeneous foodstuffs. Submitted for publication to Agric. Biol. Chem.
- 8) Siebel, E. 1892. Specific heats of various products. *Ice and Refrig.* 2, 256.
 - 9) Riedel, L. 1949. Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Zuckerlösungen, Fruchtsäften und Milch. *Chem. Ing. Technik* 21(17/18), 340.
 - 10) Charm, S.E. and P. Moody. 1966. Bound water in haddock muscle. *ASHRAE J.* 8(4), 39.
 - 11) Lentz, C.P. 1961. Thermal conductivity of meats, fats, gelatin gels and ice. *Food Techn.* 15, 243.
 - 12) ASRHAE. 1967. "Handbook of Fundamentals." Am. Soc. of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, N.Y.
 - 13) Sweat, V.E. 1974. Experimental values of thermal conductivity of selected fruits and vegetables. *J. Food Sci.* 39, 1080.
 - 14) Polley, S.L., O.P. Snyder and P. Kotnour. 1980. A compilation of thermal properties of foods. *Food Techn.* 34, 76.
 - 15) Woodams, E.E. and J.E. Nowrey. 1968. Literature values of thermal conductivities of foods. *Food Techn.* 22, 494.
 - 16) Kostaropoulos, A.E. 1971. Wärmeleit Zahlen von Lebensmitteln und Methoden zu deren Bestimmung. Heft 16, Berichtsheft der Fachgemeinschaft Lufttechnische und Trocknungs-Anlagen im VDMA, 6 Frankfurt/M-niederad 71-Postfach 320.
 - 17) Morley, M.J. 1972. Thermal properties of meat: tabulated data. Meat Research Institute Special Report No. 1. Meat Research Institute. Langford, Bristol, England.
 - 18) Qashou, M.S., R. I. Vachon and Y. S. Touloukian. 1972. Thermal conductivity of foods. *Trans. ASHRAE.* 78(part one), 165.
 - 19) Cuevas, R. and M. Cheryan. 1978. Thermal conductivity of liquid foods-A review. *J. Food Proc. Eng.* 2, 283.
 - 20) Sweat, V.E. 1975. Modeling the thermal conductivity of meats. *Trans. ASAE.* 18, 564.
 - 21) Spells, K.E. 1960. The thermal conductivities of some biological fluids. *Phy. Med. Biol.* 5, 139.
 - 22) Chen, A.C. and D.R. Heldman. 1972. An analysis of the thermal properties of dry food powder in a packed bed. *Trans. ASAE.* 15, 951.
 - 23) Mannheim, H.C., M.P. Steinberg and A.I. Nelson. 1955. Determination of enthalpies involved in food freezing. *Food Techn.* 9, 556.
 - 24) Bull, H.B. and K. Breese. 1968. Temperature coefficients of protein partial volumes. *J. Phy. Chem.* 72(5), 1817.
 - 25) Berlin, E. and M.J. Pallansch. 1968. Densities of several proteins and L-amino acids in the dry state. *J. Phy. Chem.* 72(6), 1887.
 - 26) Kong, J.Y. 1982. On the effective thermal diffusivity of water-protein-fat food system. *Bull. Korean Fish. Soc.* 15(2), 154.