

# 煉製品類의 熱擴散度 推定에 關한 研究\*

## 4. 白色肉 魚肉 煉製品의 熱擴散度

崔秀逸\*\* · 韓鳳浩 · 金鍾鐵 · 裴泰進 · 趙顯德  
釜山水產大學 食品工學科

## Prediction of Thermal Diffusivities of Fish Meat Paste Products

### 4. Thermal Diffusivities of White Muscled Fish Meat Paste Products

Soo-Il CHOI\*\*, Bong-Ho HAN, Jong-Chul KIM, Tae-Jin BAE, and Hyun-Duk CHO  
Department of Food Science and Technology, National Fisheries University of Pusan  
Pusan 608-737, Korea

Thermal diffusivities of white muscled fish meat paste products were measured and an experimental equation for prediction of the thermal diffusivity was suggested.

The thermal diffusivities of products with water contents of 43.00 to 82.49% and lipid contents of 0.50 to 14.88% could be deduced as following equations ;

$$a_{80.39c} = 0.0832 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0797 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

$$a_{100.63c} = 0.0873 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0830 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

$$a_{120.09c} = 0.0842 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0901 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

From these equations, an experimental equation was derived for the prediction of thermal diffusivities of white muscled fish meat paste products ;

$$a = (1.308 + 0.1324 \cdot X_w) \cdot a_w - 0.0627 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.1355 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

The errors of the thermal diffusivities predicted with this equation were less than  $\pm 0.30$  % compared with those measured.

### 緒 論

固形食品의 最適熱處理條件을 數學的으로 推定하기 위하여서는 熱浸透曲線의 推定이 可能하여야 하고, 그러기 위하여서는 熱擴散度의 推定이 필수적이다. 이를 위하여 Riedel(1969), Gaffney et al. (1980), Martens (1980), Singh (1982) 등은 여러가지 食品을 對象으로 하여 熱擴散度의 推定式을 제시한 바 있

다. 그러나 주로 과일류 및 脂肪含量이 극히 낮은 食品들을 對象으로 하고 있어서 魚肉煉製品의 경우에는 適用可能性에 대한 충분한 검토가 선행되어야 한다. 이러한 목적을 위한 일련의 研究로서 前報(韓 등, 1988a ; 崔 등, 1988 ; 韓 등, 1988b)에서는 成分組成과 텍스튜어, 加熱溫度와 二段加熱, 그리고 加熱媒體가 魚肉煉製品의 熱擴散度에 미치는 영향을 검토하였으며, 本 實驗에서는 白色肉魚肉煉製品의

\* 本 研究는 1986年度 韓國科學財團 研究費 지원에 의해 이루어 졌음.

\*\*東明專門大學 食品加工科

(Department of Food Technology, Dong Myung Junior College, Nam-gu, Pusan 608-080, Korea)

熱擴散度推定式을 제시하고자 하였다.

## 材料 및 方法

### 1. 試料

명태, *Theragra chalcogramma*, 말쥐치, *Navodon modestus* 및 조기, *Pseudosciaena manchurica*의 고기 풀을 주원료로 하고 前報(韓 등, 1988a; 崔 등, 1988; 韓 등, 1988b)에서와 같이 處理하여 熱傳達實驗에 使用하였다.

### 2. 實驗裝置

前報(韓 등, 1988a; 崔 등, 1988; 韓 등, 1988b)에서와 同一한 裝置를 使用하였으며 模型容器로는 有限 원기둥형 1종류( $\phi: 7.50 \times 10^{-2}m$ ,  $H: 11.20 \times 10^{-2}m$ )와 無限 원기둥형 2종류( $\phi: 4.60 \times 10^{-2}m$ ,  $H: 21.30 \times 10^{-2}m$ ;  $\phi: 4.60 \times 10^{-2}m$ ,  $H: 20.20 \times 10^{-2}m$ )를, 그리고 加熱媒體로는 포화 수증기와 끓는 물을 使用하였다.

### 3. 實驗方法

一般成分의 分析 및 熱傳達實驗은 前報(韓 등, 1988a; 崔 등, 1988; 韓 등, 1988b)에서와 同一한 方法으로 行하였으며, 熱擴散度의 計算 역시 同一한 方法으로 行하였으며, 熱擴散度의 計算 역시 同一한 方法으로 行하였다. 즉, 有限 원기둥형 및 無限 원기둥형 容器內의 試料 고기풀의 冷點에서의 溫度와 時間關係는 Fourier 제2식의 解(Carlsaw and Jaeger, 1959)와 Newman의 方法(Newman, 1930)으로 다음과 같이 나타내어 진다.

$$\left( \frac{\vartheta_R - \vartheta}{\vartheta_R - \vartheta_0} \right) = \left\{ \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{2n-1} \cdot \exp \left[ - \left( \frac{2n-1}{2} \right)^2 \cdot \pi^2 \cdot Fo_{pl} \right] \right\} \cdot \left\{ 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{B_n \cdot J_1(B_n)} \cdot \exp(-B_n^2 \cdot Fo_{cyl}) \right\} \dots \dots \dots (1)$$

$$\left( \frac{\vartheta_R - \vartheta}{\vartheta_R - \vartheta_0} \right)_{cyl} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{B_n \cdot J_1(B_n)} \cdot \exp(-B_n^2 \cdot Fo_{cyl}) \dots \dots \dots (2)$$

여기서

- $B_n$  : n-th root of the equation  $J_0(B_n)=0(-)$
- $Fo_{cyl}$  : Fourier number for infinite cylinder(-)
- $Fo_{pl}$  : Fourier number for infinite plate(-)

- $J_1$  : Bessel function of 1st kind of order one(-)
- $\vartheta$  : temperature ( $^{\circ}C$ )
- $\vartheta_0$  : initial temperature ( $^{\circ}C$ )
- $\vartheta_R$  : heating temperature ( $^{\circ}C$ )

따라서  $(\vartheta_R - \vartheta) \leq 10^{\circ}C$ ,  $Fo \geq 0.2$ 의 범위에서 식(1)과(2)에 測定된 時間과 溫度를 代입하여 熱擴散度를 구하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 試料의 一般成分

축합 인산염과 식염의 濃度가 각각 0.3% 및 3.0%가 되도록 부원료와 혼합한 試料 고기풀의 各成分含量은 Table 1에 나타낸 바와 같이 水分 43.00~82.49%, 脂肪 0.50~14.88%, 炭水化合物 1.00~29.29%, 蛋白質 9.17~36.08%, 그리고 灰分은 0.18~2.52%의 범위였다.

### 2. 熱擴散度의 推定

加熱媒體를 포화 수증기와 끓는 물로 하고  $80.39 \pm 0.50^{\circ}C$ ,  $100.63 \pm 0.80^{\circ}C$  및  $120.09 \pm 1.50^{\circ}C$ 에서 測定한 白色肉魚肉煉製品의 熱擴散度를 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition ranges of fish meat paste products prepared with additives (Unit : %)

	(Unit : %)
Water	43.00-82.49
Crude fat	0.50-14.88
Crude protein	9.17-36.08
Carbohydrate	1.00-29.29
Ash	0.18-2.52

前報(韓 등, 1988a; 崔 등, 1988; 韓 등, 1988b)에서와 같이 同一한 溫度에서 熱擴散度는 水分含量의 증가에 따라 직선적으로 증가하였고, 同一한 水分含量에서는 熱處理溫度의 상승에 따라 증가하였으며, 各溫度에서의 測定値는 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$a_{80.39^{\circ}C} = 0.0832 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0797 \cdot 10^{-6} \dots \dots (3)$$

$$r = 0.8773$$

$$a_{100.63^{\circ}C} = 0.0873 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0830 \cdot 10^{-6} \dots \dots (4)$$

$$r = 0.8939$$

$$a_{120.09^{\circ}C} = 0.0842 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0901 \cdot 10^{-6} \dots \dots (5)$$

$$r = 0.9333$$

여기서

- $a$  : thermal diffusivity ( $m^2 \cdot s^{-1}$ )
- $X_w$  : mass fraction of water in product(-)

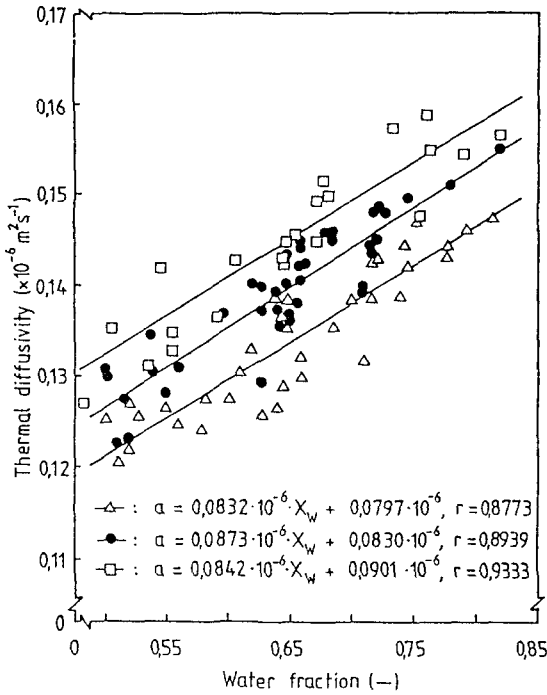


Fig. 1. Thermal diffusivities of white muscled fish meat paste products versus water content.  
 —△—: 80.39±0.50°C in water, —●—: 100.63±0.80°C in saturated steam and water, —□—: 120.09±1.50°C in saturated steam and water.

熱擴散度는 다음과 같이 정의된다.

$$a = \frac{\lambda}{\rho C_p} \dots\dots\dots (6)$$

여기서,

$\lambda$ : thermal conductivity ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ )

$\rho$ : density ( $kg \cdot m^{-3}$ )

$C_p$ : specific heat capacity ( $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ )

따라서 熱擴散度는 식(6)의 정의에 따라 熱傳導度, 密度 및 比熱容量으로부터 구할 수 있다. 그런데 熱傳導度 및 比熱容量의 推定을 위하여 다음과 같은 몇가지 식들이 제시되어 있다(Siebel, 1982; Dickerson, 1969; Charm, 1978; Heldman and Singh, 1980; Riedel, 1949; Chen and Heldman, 1972; Sweet, 1974; Baghe-Khandan and Okos, 1981).

$$\lambda = (486 + 1.55 \cdot \theta - 0.005 \cdot \theta^2) \cdot (1 - 0.0054 \cdot X_w) \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (7)$$

$$\lambda = 0.2851 - 0.000376 \cdot \theta + 1.07 \cdot X_w \dots\dots\dots (8)$$

$$\lambda = 0.148 + 0.493 \cdot X_w \dots\dots\dots (9)$$

$$\lambda = \lambda_w \cdot X_w + \lambda_f \cdot X_f + \lambda_p \cdot X_p \dots\dots\dots (10)$$

$$C_p = 0.837 + 3.4 \cdot X_w \dots\dots\dots (11)$$

$$C_p = 1.675 - 2.5 \cdot X_w \dots\dots\dots (12)$$

$$C_p = 2.049 \cdot X_f + 1.256 \cdot X_s + 4.187 \cdot X_w \dots\dots\dots (13)$$

$$C_p = 1.424 \cdot X_c + 1.549 \cdot X_p + 1.675 \cdot X_f + 0.837 \cdot X_s + 4.187 \cdot X_w \dots\dots\dots (14)$$

여기서,

$X$ : mass fraction(-)

a, c, f, p, s, w: ash, carbohydrate, fat, protein, solid and water.

熱傳導度에 관하여서는 식(7)~(10)이외에도 Yano et al. (1981)의 보고와 같이 Series model, Hamilton 등의 方法, Kunii-Smith의 方法 등이 있으며, 이들 모든 식들이 食品을 構成하는 순수한 각 構成成分들의 熱傳導度를 전제로 하고 있다. 그러나 식(7), (8), (9), (11) 및 (12)는 食品의 熱傳導度와 比熱容量이 食品中에 水分含量만으로도 推定이 可能함을 의미한다. 密度도 각 構成成分의 含量에 따라 달라지지만, Perez and Calvero (1984)에 따르면 쇠기의 密度가 水分含量의 증가에 따라서 커지며, 水分含量 40% 이상에서는 거의 一定하다고 報告하였다. Yano 등 (1981)의 報告에 의하면 密度 역시 식(10)과 유사한 parallel model에 의하여 구할 수도 있겠으나, 密度는 單位體積當의 質量으로서 根本적으로 溫度에 따라 변하는 값임을 알 수 있다. 따라서 식(6)에서 熱擴散度는 각 成分의 含量과 溫度에 따라 변하는 값으로서, 실제 產業體에서 손쉽게 推定할 수 있기 위하여서는 납득 가능한 誤差의 범위내에서 水分含量과 熱處理溫度만의 함수로서 나타내어 간단하게 推定할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

이를 위하여 Riedel (1969)은 水分含量과 熱處理溫度에서의 水分의 熱擴散度를 變數로 하여 다음과 같은 熱擴散度推定式을 제시하였다.

$$a = 0.0885 \cdot 10^{-6} + (a_w - 0.0885 \cdot 10^{-6}) \cdot X_w \dots\dots (15)$$

여기서,

$a_w$ : thermal diffusivity of water at heating temperature( $m^2 \cdot s^{-1}$ )

식(15)는 水分含量 40% 이상, 溫度 0°C 이상 80°C까지의 범위에서 脂肪含量이 낮은 食品에 適用되며 Gaffney et al. (1980), Singh (1982) 및 Hayes (1984) 등은 이 식의 타당성을 확인하였다. 한편 Han and Loncin (1985)은 4%의 head space가 있는 模型魚肉煉製品을 100~120°C의 溫度에서 處理한 경우 식(15)의 適用이 可能하다고 하였다.

本實驗의 각 溫度에서의 實測式인 식 (3), (4) 및 (5)를 Riedel (1969)이 제시한 식 (15)와 같은 形態로 정리하여 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$\alpha = 0.0867 \cdot 10^{-6} + (\alpha_w - 0.0867 \cdot 10^{-6}) \cdot X_w \dots (16)$   
 그리고 이와는 달리 식 (3), (4) 및 (5)를 統計學의 方法으로 정리하여 식 (17)과 같은 새로운 形態의 推定式으로 나타내었다.

$$\alpha = (1.308 + 0.1324 \cdot X_w) \cdot \alpha_w - 0.0627 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.1355 \cdot 10^{-6} \dots (17)$$

Table 2에는 實測式인 식 (3), (4) 및 (5)를 기준으로 하고 推定式 (15), (16) 및 (17)을 利用하여 推定한 熱擴散度의 誤差를 나타내었다.

本實驗의 條件인 水分含量 43.00~82.49%의 程度, 말뚝치 및 조기 煉製品의 熱擴散度는 Riedel (1969)이 제시한 식 (15)의 경우 0.09~4.11%의 誤差를, 그리고 本實驗의 結果를 Riedel (1969)의 方法에 따라 제시한 식 (16)의 경우에는 0.13~3.37%의 誤差를 나타내었다.

Table 2. Comparison of errors in thermal diffusivities predicted with some experimental equations

Used equations	Water fraction			
	0.50	0.60	0.70	0.80
(Unit : %)				
At 80.39±0.50℃				
Riedel's eqn.	4.11	3.26	2.51	1.85
Exp. eqn. by R. m.	3.37	2.71	2.12	1.60
New exp. eqn.	0.02	0.11	0.20	0.27
At 100.63±0.80℃				
Riedel's eqn.	1.31	0.66	0.09	-0.42
Exp. eqn. by R. m.	0.60	0.13	-0.29	-0.65
New exp. eqn.	0.19	0.00	-0.16	-0.30
At 120.09±1.50℃				
Riedel's eqn.	-2.95	-2.54	-2.18	-1.86
Exp. eqn. by R. m.	-2.15	-1.94	-1.76	-1.60
New exp. eqn.	0.02	0.11	0.19	0.26

Riedel's eqn. : Riedel's equation, (15) in text.  
 Exp. eqn. by R. m. : Experimental equation derived by Riedel's method, (16) in text.  
 New exp. eqn. : New experimental equation, (17) in text.

그러나 식 (17)의 경우에는 最大誤差가 ±0.30%였다. 따라서 本實驗에서 새로이 제시한 식 (17)을 利用한다면, 魚肉煉製品의 熱擴散度를 손쉽게 그리고 精確하게 推定할 수가 있음을 확인하였다.

## 結論 및 要約

煉製品類의 熱處理工程을 數學적으로 推定可能케 하기 위한 研究의 일환으로서 白色肉魚肉煉製品의 熱擴散度를 測定하고, 80℃~120℃의 溫度 범위에서 適用可能한 하나의 推定式을 제시하고자 하였다. 成分組成을 무작위하게 한 程度, 말뚝치 및 조기 고기 肉을 試料로 하여 80.39℃, 100.63℃ 및 120.09℃에서 熱傳達實驗을 행하였다. 加熱媒體로는 포화 수증기와 끓는 물을 使用하였고, 熱擴散度는 Fourier 제2식의 解와 Newman의 方法으로 구하였으며 그 結果는 다음과 같이 要約할 수 있었다.

白色肉魚肉煉製品의 熱擴散度는 熱處理溫度가 높아짐에 따라 증가하였으며, 水分含量과 熱處理溫度를 기준으로한 熱擴散度의 測定値는 다음의 式으로 구할 수 있었다.

$$\alpha_{80.39^\circ\text{C}} = 0.0832 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0797 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

$$\alpha_{100.63^\circ\text{C}} = 0.0873 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0830 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

$$\alpha_{120.09^\circ\text{C}} = 0.0842 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0901 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

溫度 80.39±0.50~120.09±1.50℃의 범위에서 白色肉魚肉煉製品의 熱擴散度는 水分含量과 熱處理溫度에서의 水分의 熱擴散度를 變數로 하는 다음과 같은 새로운 式으로 推定할 수 있었으며, 測定値를 기준으로 한 最大誤差는 ±0.30%였다.

$$\alpha = (1.308 + 0.1324 \cdot X_w) \cdot \alpha_w - 0.0627 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.1355 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

## 文 獻

Baghe-Khandan, M. S. and M. R. Okos. 1981. Effect of cooking on the thermal conductivity of whole and ground lean beef. *J. Food Sci.* 46, 1302~1305.

Carslaw, H. S. and J. C. Jaeger. 1959. *Conduction of heat in solids.* Oxford Univ. Press, Oxford, England, 150 p.

Charm, S. E. 1978. *Fundamentals of food engineering.* AVI Publ. Co., Westport, Conn. Vol. 2.

Chen, A. C. and D. R. Heldman. 1972. An analysis of the thermal properties of dry powder in a packed bed. *Trans. ASAE* 15, 951.

Dickerson, S. W. Jr. 1969. Thermal properties of food. In the 'Freezing preservation of food'. 4th ed., AVI Publ. Co., Westport, Conn. Vol. 2.

Gaffney, J. J., C. D. Baird and W. D. Eshleman. 1980. Review and analysis of the transient method for determining thermal diffusivity of fruit and ve-

- getables. ASHRAE Trans. 2, 261~280.
- Han, B. H. and M. Loncin. 1985. Thermal diffusivities of fish products. *Lebensm.-Wiss. u. -Technol.* 18, 159~163.
- Hayes, C. F. 1984. Thermal diffusivity of papaya fruit. *J. Food Sci.* 49, 1219~1221.
- Heldman, D. R. and R. P. Singh. 1980. Food process engineering. AVI Publ. Co. Conn.
- Martens, T. 1980. Mathematical model of heat processing in flat containers. Ph.D. Thesis. Kato-leike Univ. Leuven, Belgium.
- Newman, A. B. 1930. Temperature distribution in internally heated cylinder. *Trans. Amer. Inst. Chem. Eng.* 24, 44~54.
- Perez, M. G. R. and A. Calvero. 1984. Modeling the thermal conductivity of cooked meat. *J. Food Sci.* 49, 152~156.
- Riedel, L. 1949. Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Zuckerlösungen, Fruchtsäften und Milch. *Chem.-Ing. -Technik* 21, 17/18, 340~342.
- Riedel, L. 1969. Temperaturleitfähigkeitsmessungen an wasserreichen Lebensmitteln. *Kältetechnik-Klimatisierung* 21, 315~316.
- Siebel, J. E. 1982. Specific heat of various products. *Ice Refrig.* 2, 256.
- Singh, R. P. 1982. Thermal diffusivity in food processing. *Food Technol.* 36, 2, 87~91.
- Sweat, V. E. 1974. Experimental values of thermal conductivity of selected fruits and vegetables. *J. Food Sci.* 39, 1080~1083.
- 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, 1357~1361.
- 崔秀逸·韓鳳浩·金鍾鐵·裴泰進·趙顯德. 1988. 煉製品類의 熱擴散度 推定에 關한 研究 2. 加熱溫度 및 二段加熱의 熱擴散度에 대한 영향. *韓水誌* 21(5), 288~291.
- 韓鳳浩·崔秀逸·金鍾鐵·裴泰進·趙顯德. 1988a. 煉製品類의 熱擴散度 推定에 關한 研究 1. 成分組成 및 텍스투어의 熱擴散度에 대한 영향. *韓水誌* 21(5), 277~287.
- 韓鳳浩·崔秀逸·金鍾鐵·裴泰進·趙顯德. 1988b. 煉製品類의 熱擴散度 推定에 關한 研究 3. 加熱媒體의 熱擴散度에 대한 영향. *韓水誌* 21(5), 292~296.

1988년 10월 4일 접수

1988년 11월 29일 수리