

煉製品類의 熱擴散度 推定에 關한 研究*
5. 赤色肉 魚肉 煉製品의 熱擴散度

韓鳳浩 · 崔秀逸** · 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
5. Thermal Diffusivities of Red Muscled Fish Meat Paste Products

Bong-Ho HAN, Soo-Il CHOI**, 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

In Previous paper, an experimental equation for prediction of thermal diffusivity of white muscled fish meat paste products was suggested. In this paper, another experimental equation for red muscled fish meat paste products was derived.

The thermal diffusivities of products with water contents of 44.74 to 82.83% and lipid contents of 0.35 to 23.38% could be deduced as following equations :

$$a_{80.39c} = 0.0759 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0836 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

$$a_{100.63c} = 0.0820 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0853 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

$$a_{120.09c} = 0.0830 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.09140 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

The experimental equation derived from these equations was :

$$a = (0.9795 + 0.8996 \cdot X_w) \cdot a_w - 0.0709 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.0779 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

The errors of the thermal diffusivities of red muscled fish meat paste products predicted with this equation were less than $\pm 0.52\%$ compared with those measured.

A new experimental equation for products of white and red muscled fish meat paste could be discribed as follow :

$$a = (1.096 + 0.5318 \cdot X_w) \cdot a_w - 0.0057 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.0992 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

The errors of the thermal diffusivities predicted with this equation were less than $\pm 0.13\%$ compared with those measured.

緒 論

煉製品類의 熱處理工程을 數學的으로 推定可能케 하기 위한 일련의 研究로서 煉製品의 成分組成과 텍스투어, 加熱溫度와 二段加熱, 그리고 加熱媒體의

種類가 熱擴散度에 미치는 영향을 報告하였고(韓 등, 1988a; 崔 등, 1988a; 韓 등, 1988b) 白色肉魚肉 煉製品의 熱擴散度推定式을 제시한 바 있다(崔 등, 1988b).

一般的으로 赤色肉魚類로는 白色肉魚類에 비하여

* 本研究는 1987年度 文教部 學術 研究 造成費에 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)

彈力이 좋은 煉製品을 만들 수가 없으며, 이는 蛋白質組成에 큰 差異가 있기 때문이라기 보다는 死後經過에 따른 蛋白質變性의 速度와 樣式이 다르기 때문이라고 한다(朴, 1979). 그리고 同 한 原料를 쓰더라도 加熱方法, 加熱되는 고기품의 형상, 크기에 따라 製品의 彈力이 달라진다(李, 1985). Kong et al. (1980)은 蛋白質 젤의 熱擴散度가 水分含量과 加熱溫度뿐만 아니라 脂肪含量과 蛋白質의 種類에 따라 서로 달라진다고 하였다. 그런데 煉製品中에는 魚肉 소시지, 魚肉 햄 등과 같이 赤色肉魚肉을 原料로 使用하면서도 脂肪含量이 다소 높은 製品도 있다(李, 1985). 따라서 本實驗에서는 赤色肉魚肉을 原料로 하면서 脂肪含量이 많은 煉製品類의 熱擴散度推定式을 제시하고자 하였다.

材料 및 方法

1. 試料

정어리, *Sardinops melanosticta*, 고기품에 전분, 분리 대두 단백질 (isolated soybean protein), 그리고 돼지기름 또는 대두유, 축합 인산염과 식염을 혼합하였으며 前報(韓 등, 1988a; 崔 등, 1988a; 韓 등, 1988b; 崔 등, 1988b)에서와 같이 處理하여 축합 인산염과 식염의 濃度가 각각 0.3% 및 3.0%가 되도록 하였다.

2. 實驗裝置

實驗裝置 및 模型容器는 前報(韓 등, 1988a; 崔 등, 1988a; 韓 등, 1988b; 崔 등, 1988b)에서와 同 한 것을 使用하였다.

3. 實驗方法

一般成分의 分析, 熱傳達實驗 및 熱擴散度의 計算은 前報의 方法(韓 등, 1988a; 崔 등, 1988a; 韓 등, 1988b; 崔 등, 1988b)에 따랐다.

즉, 熱擴散度의 計算에서 有限 원기둥형 및 無限 원기둥형 容器內의 試料冷點에서의 時間과 溫度關係는 다음과 같이 Fourier 제2식의 解(Carlsaw and Jaeger, 1959)와 Newman의 方法(Newman, 1930)으로 나타내었다.

$$\left(\frac{\vartheta_R - \vartheta}{\vartheta_R - \vartheta_0}\right) = \left\{ \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{2n-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{2n-1}{2}\right)^2 \cdot \pi^2 \cdot Fo_{p1}\right] \right\} \cdot$$

$$\left\{ 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{B_n \cdot J_1(B_n)} \cdot \exp(-B_n^2 \cdot Fo_{cy1}) \right\} \dots\dots\dots (1)$$

$$\left(\frac{\vartheta_R - \vartheta}{\vartheta_R - \vartheta_0}\right)_{cy1} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{B_n \cdot J_1(B_n)} \cdot \exp(-B_n^2 \cdot Fo_{cy1}) \dots\dots\dots (2)$$

여기서

- B_n : n-th root of the equation $J_0(B_n)=0(-)$
- Fo_{cy1} : Fourier number for infinite cylinder(-)
- Fo_{p1} : Fourier number for infinite plate(-)
- J_1 : Bessel function of 1st kind of order one(-)
- ϑ : temperature (°C)
- ϑ_0 : initial temperature (°C)
- ϑ_R : heating temperature (°C)

그러므로 $(\vartheta_R - \vartheta) \leq 10^\circ\text{C}$, $Fo_0 \geq 0.2$ 의 범위(Ramaswamy et al. 1982)에서 식(1)과 식(2)에 測定된 時間과 溫度를 대입하여 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 고기품의 各成分含量은 Table 1에 나타낸 바와 같이 水分 44.74~82.83%, 脂肪 0.35~23.38%, 蛋白質 0.32~25.27%, 炭水化物 2.82~26.90%, 그리고 灰分은 0.23~2.35%의 범위였다.

Table 1. Chemical composition ranges of fish meat paste products prepared with additives

(Unit : %)	
Water	44.74 - 82.83
Crude fat	0.35 - 23.28
Crude protein	0.32 - 25.27
Carbohydrate	2.82 - 26.90
Ash	0.23 - 2.35

2. 熱擴散度의 推定

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

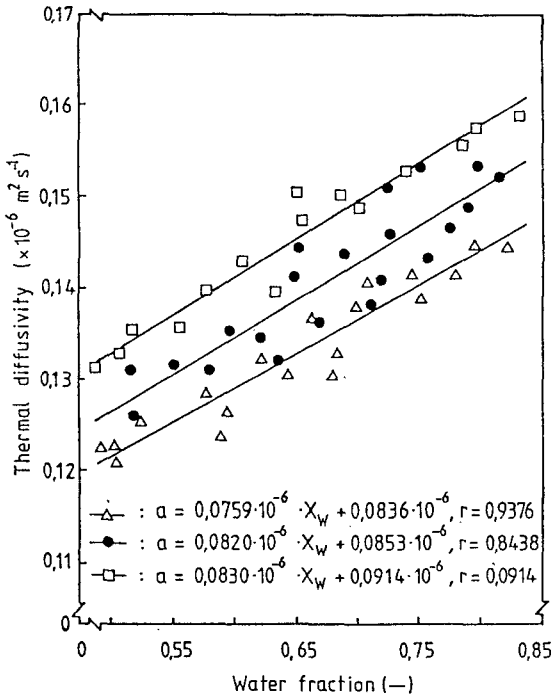


Fig. 1. Thermal diffusivities of red muscled fish meat paste products versus water content.
 -△- : 80.39 ± 0.50 °C in water, -●- : 100.63 ± 0.80 °C in saturated steam and water, -□- : 120.29 ± 1.50 °C in saturated steam and water.

었다.

白色肉魚肉煉製品の 경우 (崔 등, 1988b)에서 확인되었던 바와 같이, 同一溫度에서 熱擴散度는 水分含量的 증가에 따라 직선적으로 증가하였고, 同一水分含量에서는 그 값이 熱處理溫度의 상승에 따라 증가하였다.

그리고 각 溫度에서의 實測値는 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$a_{80.39\text{C}} = 0.0759 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0836 \cdot 10^{-6} \dots\dots (3)$$

$$r = 0.9376$$

$$a_{100.63\text{C}} = 0.0820 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0853 \cdot 10^{-6} \dots\dots (4)$$

$$r = 0.8438$$

$$a_{120.09} = 0.0830 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0914 \cdot 10^{-6} \dots\dots (5)$$

$$r = 0.9659$$

여기서

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

식 (3), (4) 및 (5)의 값은 80.39 °C, 100.63 °C 및 120.09 °C에서의 값으로서, 실제 産業體에서 80~120 °C의 溫度 범위에서 손쉽게 熱擴散度를 推定할 수 있게 하기 위하여서는 납득 가능한 誤差의 범위내에서 水分含量과 熱處理溫度만의 함수로 간단하게 나타내어 주는 것이 바람직하다.

이를 위하여 Riedel (1969)은 水分含量 40% 이상, 溫度 0 °C 이상 80 °C까지의 범위에서 脂肪含量이 낮은 食品에 대하여 다음과 같은 推定式을 제시하였다.

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

여기서

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

식 (6)의 타당성은 Gaffney et al. (1980), Singh (1982), Hayes (1984) 및 Han and Loncin (1985)에 의하여 확인된 바 있다.

本實驗의 각 溫度에서의 實測式인 식 (3), (4) 및 (5)를 식 (6)과 같은 形態로 정리하여 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$a = 0.0846 \cdot 10^{-6} + (a_w - 0.0846 \cdot 10^{-6}) \cdot X_w \dots (7)$$

식 (6)과 식 (7) 사이에 다소 差異가 있는 것은, 식 (6)은 脂肪含量이 낮은 食品에 適用되나 식 (7)은 本實驗에서 脂肪含量이 最大 23.38%로 높은 고기풀로부터 구하였기 때문으로 생각되었다.

식 (3), (4) 및 (5)를 統計學的方法으로 정리하여 식 (8)과 같이 나타낼 수도 있었다.

$$a = (0.9795 + 0.8996 \cdot X_x) \cdot a_w - 0.0709 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.0779 \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots (8)$$

Table 2에는 實測式인 식 (3), (4) 및 (5)를 기준으로 하고 推定式 (6), (7) 및 (8)을 이용하여 推定한 熱擴散度의 誤差를 나타내었다.

本實驗의 원료인 水分含量 44.74~82.83%, 脂肪含量 0.35~23.38%의 정어리 고기풀의 熱擴散度는 Riedel (1969)이 제시한 식 (6)의 경우 1.08~3.90%의 誤差를, 本實驗의 結果를 Riedel (1969)의 方法에 따라 제시한 식 (7)의 경우에는 0.05~3.46%의 誤差를 나타내었다.

그러나 本實驗에서 새로이 제시한 식 (8)의 경우에는 最大誤差가 0.52%에 불과하였다.

前報 (崔 등, 1988b)에서는 白色肉魚肉煉製品の 熱擴散度推定式으로서 식 (9)를 얻은 바 있다.

$$a = (1.308 + 0.1324 \cdot X_w) \cdot a_w - 0.0627 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.1355 \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots (9)$$

식 (8)과 식 (9)를 비교하면, 同一溫度와 同一水分含量의 경우 식 (8)의 값이, 즉 赤色肉魚肉煉製品の

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
At 80.39±0.50°C				
Riedel's eqn.	3.90	3.64	3.42	3.22
Exp. eqn. by R. m.	2.29	2.44	2.56	2.68
New exp. eqn.	-0.32	-0.23	-0.16	-0.10
At 100.63±0.80°C				
Riedel's eqn.	1.59	1.32	1.08	0.86
Exp. eqn. by R. m.	0.05	0.16	0.26	0.35
New exp. eqn.	0.52	0.36	0.23	0.10
At 120.09±1.50°C				
Riedel's eqn.	-1.99	-1.84	-1.70	-1.58
Exp. eqn. by R. m.	-3.46	-2.94	-2.48	-2.07
New exp. eqn.	-0.30	-0.22	-0.15	-0.09

Riedel's eqn. : Riedel's equation, (6) in text.

Exp. eqn. by R. m. : Experimental equation derived by Riedel's method, (7) in text.

New exp. eqn. : New experimental equation, (8) in text.

熱擴散度가 다소 작게 나타나는데 이는 原料의 脂肪含量差異 때문으로 생각되었다. 실제로 赤色肉魚肉 고기질의 脂肪含量은 0.35~23.38%였고 白色肉魚肉 고기질의 경우는 0.50~14.88%였으며, 그 이외의 成分은 含量이 거의 비슷하였다. 그러나 식 (8)과 식 (9)로 부터 구한 熱擴散度, 즉 赤色肉魚肉煉製品의 熱擴散도와 白色肉魚肉煉製品의 熱擴散도의 差異는 그리 큰 것이 아니었다. 따라서 赤色肉魚肉煉製品의 實測熱擴散度인 식 (3), (4) 및 (5)와 前報(崔 등, 1988b)에서 구한 白色肉魚肉煉製品의 實測熱擴散度인 식 (10), (11) 및 (12)를 동시에 만족시킬 수 있는 實驗式을 구하여 보았다.

$$\alpha_{80.39\text{C}} = 0.0832 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0797 \cdot 10^{-6} \dots \dots \dots (10)$$

$$r = 0.8773$$

$$\alpha_{100.63\text{C}} = 0.0873 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0830 \cdot 10^{-6} \dots \dots \dots (11)$$

$$r = 0.8939$$

$$\alpha_{120.09\text{C}} = 0.0842 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0901 \cdot 10^{-6} \dots \dots \dots (12)$$

$$r = 0.9333$$

먼저 Riedel(1969)의 方法에 따라 식 (3), (4), (5) 및 (10), (11), (12)를 종합하여 식 (13)과 같이 나타내었으며, 이와는 달리 統計學的方法으로 식 (14)와 같이도 나타내었다.

$$\alpha = 0.0860 \cdot 10^{-6} + (\alpha_w - 0.0860 \cdot 10^{-6}) \cdot X_w \dots \dots \dots (13)$$

Table 3. Comparison of errors in thermal diffusivities predicted with some experimental equations

Used equations	Water fraction			
	0.50	0.60	0.70	0.80
At 80.39±0.50°C				
Riedel's eqn.	4.07	3.39	2.79	2.25
Exp. eqn. by R. m.	3.04	2.62	2.24	1.91
New exp. eqn.	0.05	0.08	0.11	0.13
At 100.63±0.80°C				
Riedel's eqn.	1.23	0.80	0.41	0.07
Exp. eqn. by R. m.	0.25	0.06	-0.11	-0.26
New exp. eqn.	0.13	0.07	0.01	-0.04
At 120.09±1.50°C				
Riedel's eqn.	-1.43	-1.47	-1.51	-1.54
Exp. eqn. by R. m.	-2.38	-2.19	-2.01	-1.86
New exp. eqn.	0.04	0.08	0.10	0.13

Riedel's eqn. : Riedel's equation, (6) in text.

Exp. eqn. by R. m. : Experimental equation derived by Riedel's method, (13) in text.

New exp. eqn. : New experimental equation, (14) in text.

$$\alpha = (1.096 + 0.5318 \cdot X_w) \cdot \alpha_w - 0.0057 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.0992 \cdot 10^{-6} \dots \dots \dots (14)$$

Table 3에는 魚肉煉製品의 實測熱擴散度를 나타내는 식 (3), (4), (5), (10), (11) 및 (12)를 기준으로 하고 식 (6), (13) 및 (14)로 測定한 熱擴散度の 誤차를 나타내었다.

本實驗과 前報(崔 등, 1988b)에서의 試料인 水分含量 43.00~82.83%, 脂肪含量 0.35~23.38%의 白色肉 및 赤色肉魚肉煉製品의 熱擴散度는 Riedel(1969)이 제시한 식 (6)의 경우 0.07~4.07%의 誤차를, 그리고 식 (13)의 경우 0.06~3.04%의 誤차를 나타내었다.

그러나 식 (14)의 경우에는 最大誤차가 ±0.13%에 불과하였다. 따라서 本實驗에서 제시한 식 (14)를 이용한다면 赤色肉 및 白色肉魚肉煉製品의 熱擴散度を 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 推定可能케 하기 위한 研究의 일환으로서 赤色肉魚肉煉製品의 熱擴散度を 測定하고 80°C~120°C의 溫度 범위에서 適用可能한

하나의 推定式을 구하고, 前報(崔 등, 1988b)의 白色肉魚肉煉製品の 結果와 함께 전체 魚肉煉製品에 適用可能한 推定式을 제시하고자 하였다.

정어리 고기풀에 전분, 분리 대두 단백질, 돼지 기름 또는 대두유를 혼합하되, 혼합비를 달리하여 成分組成을 무작위하게 하고 축합 인산염과 식염의 濃度를 각각 0.3%, 3.0%가 되도록 하였다. 이를 模型容器에 넣고 熱浸透曲線을 구하였으며, 이로부터 Fourier 제2식의 解와 Newman의 方法으로 熱擴散度를 구하였다. 加熱媒體로는 끓는 물과 수증기를 사용하였으며, 赤色肉魚肉煉製品の 實測熱擴散度는 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$a_{80.39c} = 0.0759 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0836 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

$$a_{100.63c} = 0.0820 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0853 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

$$a_{120.09c} = 0.0830 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0914 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

溫度 80.39±0.50~120.09±1.50°C의 범위에서 赤色肉魚肉煉製品の 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 식으로 赤色肉魚肉煉製品の 熱擴散度를 推定할 수 있었으며, 實測值를 기준으로 한 最大誤差는 ±0.52%였다.

$$a = (0.9795 + 0.8996 \cdot X_w) \cdot a_w - 0.0709 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.0779 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

前報(崔 등, 1988b)에서 白色肉魚肉煉製品에 대하여 제시한 熱擴散度推定式과 本實驗에서의 赤色肉魚肉煉製品の 結果를 종합하여서는 다음과 같은 새로운 推定式을 구할 수 있었다.

$$a = (1.096 + 0.5318 \cdot X_w) \cdot a_w - 0.0057 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.0992 \cdot 10^{-6}, m^2 \cdot s^{-1}$$

이 식으로 推定한 赤色肉 및 白色肉魚肉煉製品の 熱擴散度의 最大誤差는 實測值를 기준으로 ±0.13% 이내였다.

文 獻

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

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 vegetables. 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.

Kong, J. Y., O. Miyawaki and T. Yano. 1980. Effective thermal diffusivities of some protein gels. Agric. Biol. Chem. 44, 1905~1919.

Newman, A. B. 1930. Temperature distribution in internally heated cylinder. Trans. Amer. Inst. Chem. Eng. 24, 44~54.

Ramaswamy, H. S., K. V. Lo and M. A. Tung. 1982. Simplified equations for transient temperatures in conductive food with conductive heat transfer at the surface. J. Food Sci. 47, 2042~2047.

Riedel, L. 1969. Temperatureleitfähigkeitsmessungen an wasserreichen Lebensmitteln. Kältetechnik-Klimatisierung 21, 315~316.

Singh, R. P. 1982. Thermal diffusivity in food processing. Food Technol. 36, (2), 87~91.

朴榮浩. 1979. 水産食品加工學. 螢雪出版社.

李應昊. 1985. 水産加工學. 先進文化社.

崔秀逸 · 韓鳳浩 · 金鍾鐵 · 裴泰進 · 趙顯德. 1988a. 煉製品類의 熱擴散度 推定에 관한 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.

崔秀逸 · 韓鳳浩 · 金鍾鐵 · 裴泰進 · 趙顯德. 1988b. 煉製品類의 熱擴散度 推定에 관한 研究 4. 白色肉魚肉煉製品の 熱擴散度. 韓水誌 21(6), 361~365

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 관한 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 관한 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