

혼합육 가공품의 열확산도 추정에 관한 연구

이건영 · 박상민* · 안희우** · 조현덕** · 한봉호**
한국냉장주식회사 · *사조산업주식회사 · **부산수산대학교 식품공학과

Prediction of Thermal Diffusivities of Meat Products Containing Fish Meat

Keon-Young LEE · Sang-Min PARK* · Hee-Woo AN**
Hyun-Duk CHO** and Bong-Ho HAN**

Korea Cold Storage Co., *Sajo Industrial Co.,

**Dept. of Food Sci. and Technol., National Fisheries University of Pusan

To suggest a thermal diffusivity predicting equation for mixed meat products, heat penetration curves of pork products containing filefish meat were plotted in the temperature range of 80.44~121.03°C, and thermal diffusivities were calculated from the heat penetration curves. The ground pork was mixed with minced filefish meat and some additives such as lard, isolated soy protein, 1.5% of table salt and 2% of polyphosphate to control the composition and texture of products, and then stuffed into a model can. The heat penetration curves were plotted using a thermocouple fixed at the slowest heating point of the can.

At constant heating temperature, the thermal diffusivities of the products increased linearly with increasing moisture content. The values of the products with constant moisture content also increased linearly with increasing heating temperature. The thermal diffusivities of the products with moisture content of 51.47~80.20% could be predicted by following equation:

$$\alpha_p = (3.045 + 0.59 \cdot X_w) \cdot \alpha_w + 0.0098 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.4287 \cdot 10^{-6}, (m^2 \cdot s^{-1})$$

Maximal differences of the thermal diffusivities predicted with this equation were in the range of $\pm 0.8\%$ compared with the practical values.

This equation and another predicting equation obtained from the previous study for the pork product without fish meat could be simplified as following one equation, and the maximal differences of the thermal diffusivities predicted with this equation for both products with and without fish meat were in the range of less than $\pm 2.5\%$

$$\alpha_p = (2.290 + 0.54 \cdot X_w) \cdot \alpha_w + 0.0024 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.3535 \cdot 10^{-6}, (m^2 \cdot s^{-1})$$

서 론

우리나라에서 생산되는 햄, 소시지 등의 축육 가공품은 그 원료로서 주로 축육을 이용하고 있으나, 상당량의 어육도 이용하고 있다. 이러한 혼합육 가공품의 안전성 확보를 위하여서는 적정 열처리 조

건이 제시되어야 하며, 열확산도의 추정을 통한 열처리 조건의 제시가 이를 위한 한가지 방법이 될 수 있다. 그런데 기존의 발표된 열확산도 추정식들은 과일류, 지방함량이 낮은 육류 및 어류 가공품, 어육 연제품류를 대상으로 한 것들(Riedel, 1969; Gaffney *et al.*, 1980; Martens, 1980; Han and Lon-

cin, 1984; 韓 등, 1988-a, -b, -c; 崔 등, 1988-a, -b) 이어서 이들 식의 혼합육 가공품에 대한 적용 가능성 여부의 검토가 선행되거나 또는 적절한 열확산도 추정식이 제시되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 韓 등(1988-a, -b, -c), 崔 등(1988-a, -b), 朴(1990)의 어육 연제품류 및 축육 가공품의 열확산도 추정에 관한 연구를 바탕으로 축육과 어육을 혼합하여 만든 가공품에 적용가능한 열확산도 추정식을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

시료육

혼합육으로 가공하는 햄·소시지류의 주원료로는 돼지고기를, 그리고 이와 혼합하는 어육으로는 말쑤치육을 각각 한국냉장(주) 및 대림수산(주)에서 동결상태로 구입, 비닐 주머니에 밀봉·포장하여 -30℃의 동결고에 저장하여 두고 실험에 사용하였다. 부원료로는 식염 1.5%, 지방함량 조절용으로 lard, 조식의 결합력을 높이기 위하여 중합인산염 0.2%, 그리고 단백질함량 조절용으로 대두단백질을 사용하였으며, 이들을 혼합하여 충분히 고기갈이한 후에 상온에 방치, 온도를 균일하게 하여 열전달실험에 사용하였다.

실험장치

열전달 실험용 장치로는 韓 등(1988-a, -b, -c)과 崔 등(1988-a, -b)이 연제품류의 열확산도 추정을 위하여 제작하였던 것을 이용하였다. 즉, 가열장치로는 고압증기술과 항온수조를 사용하였고, 가열매체로는 Dickerson and Read(1968)의 지적에 따라 표면열전달저항이 무시될 수 있게 총괄열전달계수가 큰 포화수증기와 물을 사용하였다. 시료 충전용 용기로는 두께 $0.07 \cdot 10^{-2}m$ 의 스테인레스강으로 제작한 높이 $11.2 \cdot 10^{-2}m$, 지름 $7.5 \cdot 10^{-2}m$ 의 유한원기동형의 용기를 사용하였다. 시료의 냉점에서의 온도변화 및 가열매체의 온도는 직경 $0.02 \cdot 10^{-2}m$ 의 열전대(NiCr-Ni)와 Digital Microvoltmeter(Model 177 DMM, Keithley Instruments Co.)를 사용하여 측정하였다.

실험방법

시료육을 충전하고 냉점에 열전대를 고정시킨 모형 용기를 일정 온도의 고압증기술 또는 항온수조에 넣고 가열시간에 따른 냉점에서의 온도변화

를 측정하였으며, 가열매체와 시료육 냉점의 온도와의 차이가 1℃ 미만일 때까지 2분간격으로 열침투곡선을 구하였다.

시료육의 일반성분으로서 수분은 상압가열건조법, 조단백질을 Semi microkjedahl법, 조지방은 Soxhlet법, 회분은 건식회화법으로 측정하였으며, 그 이외의 성분을 탄수화물 함량으로 하였다.

열확산도의 계산

표면열전달저항을 무시할 수 있는 전도전열에 의한 유한원기동형 시료용기의 냉점에서의 열침투곡선은 Fourier 제2식의 해(Carlsaw and Jaeger, 1959)를 이용한 Newman(1930)의 방법에 따라 무한평판의 해와 무한원기동의 해의 곱인 식(1)과 같이 나타내어진다.

$$\left[\frac{T_h - T}{T_h - T_i} \right] = \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{2n-1} \cdot \exp \left[-\left(\frac{2n-1}{2} \right)^2 \cdot \pi^2 \cdot Fo_{pl} \right] \cdot 2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp(-B_n^2 \cdot Fo_{cy})}{B_n \cdot J_1(B_n)} \dots \dots \dots (1)$$

이 식에서

- B_n : n-th root of the equation $J_0=0$, (-)
- Fo_{cy} : Fourier number for infinite cylinder, (-)
- Fo_{pl} : Fourier number for infinite plate, (-)
- J_1 : Bessel function of 1st kind of order one, (-)
- T : temperature of product at time $t=t$, (℃)
- T_h : temperature of heating medium, (℃)
- T_i : initial temperature of product, (℃).

따라서 식(1)에서 Fourier number, $Fo(\alpha_p \cdot t)/l^2$ 중의 시간 t 에서의 실측 온도 T 를 대입하여 열확산도, α_p 를 구하였으며, 韓 등(1988-a, -b, -c), 崔 등(1988-a, -b)과 Ramaswamy *et al.*(1982)의 방법에 따라서 가열매체의 온도와 시료의 냉점에서의 온도와의 차이가 $(T_h - T) \leq 10^\circ C$ 인 조건에서 열확산도를 구하되 $Fo \geq 0.2$ 의 범위에서 2분간격으로 구한 열확산도를 산술평균하여 최종 열확산도로 하였다.

결과 및 고찰

시료육의 일반성분

성분조성을 달리하여 열전달실험에 사용한 혼합육의 성분조성의 범위를 Table 1에 나타내었다. 일

반적으로 열확산도에 영향을 미치는 성분 중 특히 그 영향이 크다고 알려져 있는 수분함량 및 지방 함량은 각각 51.47~80.20% 및 3.78~16.96% 범위였다.

Table 1. Chemical composition of pork meat mixed with filefish meat

Component	Content(%)
Moisture	51.47~80.20
Crude protein	9.93~32.48
Crude lipid	3.78~16.96
Carbohydrate	0.27~ 1.30
Ash	0.18~ 1.79

성분조성 및 가열온도와 열확산도

성분조성을 달리한 혼합육의 80.44~120.98℃에서의 열확산도의 변화를 일반성분중 함량이 가장 많은 수분함량을 기준으로 Fig. 1에 나타내었다. 일정 온도에서의 열확산도는 다른 성분의 함량과는 관계없이 수분함량의 증가에 따라 직선적으로 그 값이 커지는 경향을 확인할 수 있었으며, 각 온도에서의 열확산도는 식(2)~(4)와 같이 나타낼 수 있었다.

$$\alpha_{p,(80.44 \pm 0.3t)} = 0.0870 \cdot 10^{-6} X_w + 0.0689 \cdot 10^{-6}, \quad (m^2 \cdot s^{-1}, r=0.7034) \dots\dots (2)$$

$$\alpha_{p,(98.78 \pm 0.3t)} = 0.0862 \cdot 10^{-6} X_w + 0.0845 \cdot 10^{-6}, \quad (m^2 \cdot s^{-1}, r=0.6433) \dots\dots (3)$$

$$\alpha_{p,(121.03 \pm 0.5t)} = 0.0932 \cdot 10^{-6} X_w + 0.0939 \cdot 10^{-6}, \quad (m^2 \cdot s^{-1}, r=0.7673) \dots\dots (4)$$

이들 식에서

X_w : mass fraction of water in food, (-)

α_p : thermal diffusivity of mixed meat product, ($m^2 \cdot s^{-1}$).

Riedel(1969), Gaffney *et al.*(1980), Martens(1980), Han and Loncin(1984), 韓 등(1988-a, -b, -c), 崔 등(1988-a, -b), 그리고 朴(1990)은 식품의 열확산도가 성분조성에 따라 달라지지만, 대부분의 식품의 경우 수분함량의 증가에 따라 직선적으로 커짐을 밝힌 바 있으며, Rizvi *et al.*(1980), Nesvada and Eunson(1984)도 동일한 결과를 보고한 바 있다. 본 연구의 결과는 이들 보고와 잘 일치하였으며, 이러한 식품의 구성성분 중 양적으로 가장 큰

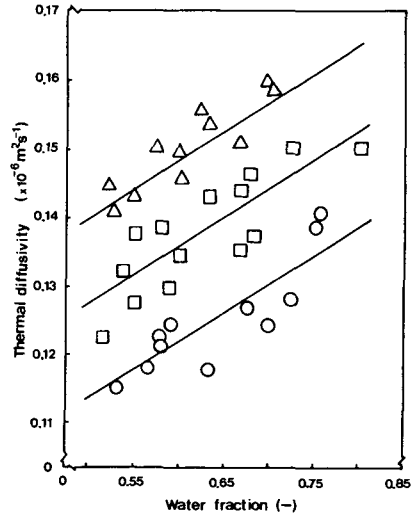


Fig. 1. Thermal diffusivities versus water content.

- : 80.44 ± 0.3℃ in water,
- : 98.78 ± 0.3℃ in water,
- △-: 120.98 ± 0.5℃ in saturated steam.

비율을 차지하는 것이 수분이었던 점과도 잘 일치하였다.

열확산도 추정식

식(2)~(4)는 온도 80~120℃ 범위의 특정 온도에서의 돼지고기와 어육의 혼합육제품에 대한 열확산도 추정식이므로 이들 결과로부터 임의의 가열온도에서의 열확산도의 추정을 가능케 하고자 이들 식을 정리하여 다음과 같이 하나의 식으로 나타내었다.

$$\alpha_p = (3.045 + 0.59 \cdot X_w) \cdot \alpha_w + 0.0098 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.4287 \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots (5)$$

이 식에서

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

식(5)의 정확도를 조사하기 위하여 수분함량이 51.47~80.2%, 범위인 혼합육의 열확산도를 추정식(5)로부터 구하고, 그 값을 식(2)~(4)로 구한 값들을 기준으로 비교하였을 때의 차이를 Table 2에 나타내었다.

추정치와 실측치와의 차이는 불과 ±0.8% 미만

Table 2. Differences in thermal diffusivities predicted with equation (5) (Unit: %)

Heating temperature	Water fraction			
	0.50	0.60	0.70	0.80
80℃	0.80	0.60	0.43	0.28
100℃	-0.06	0.17	0.38	0.56
120℃	0.27	0.15	0.05	-0.05

이었으며, 이는 식(5)를 이용하여 축육·어육 혼합육 가공품의 열확산도를 큰 오차없이 추정할 수 있음을 의미하였다.

朴(1990)은 80~121℃의 온도 범위에서 수분함량이 59.01~77.55%, 지방함량이 1.38~37.57%인 돼지고기를 원료로 사용한 축육가공품의 열확산도를 측정하여 온도별로 식(6)~(8)을 구하고 이를 종합하여 식(9)와 같이 나타내었다.

$$\alpha_{p,(80.76 \pm 0.3^\circ\text{C})} = 0.0869 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0720 \cdot 10^{-6}, (m^2 \cdot s^{-1}) \dots\dots\dots (6)$$

$$\alpha_{p,(98.57 \pm 0.3^\circ\text{C})} = 0.0849 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0818 \cdot 10^{-6}, (m^2 \cdot s^{-1}) \dots\dots\dots (7)$$

$$\alpha_{p,(121.03 \pm 0.5^\circ\text{C})} = 0.0906 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0893 \cdot 10^{-6}, (m^2 \cdot s^{-1}) \dots\dots\dots (8)$$

$$\alpha_p = (2.1394 + 0.5 \cdot X_w) \cdot \alpha_w + 0.0035 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.2785 \cdot 10^{-6}, (m^2 \cdot s^{-1}) \dots\dots\dots (9)$$

따라서 본 연구에서의 축육·어육의 혼합육 가공품과 朴(1990)의 연구에서의 축육 가공품에 동시에 적용될 수 있는 열확산도 추정식을 얻고자 식(2)~(4)와 식(6)~(8)을 동시에 만족시킬 수 있는 하나의 식으로 종합하여 식(10)을 얻었다. 그리고 각 가공품의 실측 열확산도를 기준으로 식(10)에 의한 추정치의 차이를 구하여 Table 3에 나타내었다.

$$\alpha_p = (2.290 + 0.54 \cdot X_w) \cdot \alpha_w + 0.0024 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.3535 \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots (10)$$

식(10)으로 추정된 축육과 축육·어육 혼합육 가공품의 열확산도를 비교하여 보면, 朴(1990)이 사용한 축육의 경우 지방함량이 최대 37.57%로서 본 연구의 최대 지방함량 16.96%의 2배 이상임에도 불구하고 온도 80~120℃의 범위에서 실측 열확산도와 비교하여 ±2.5% 이내의 차이를 나타내었다. 따라서 식(10)을 이용하여 수분함량만을 기준으로 축육 또는 축육·어육 혼합육 가공품의 각

Table 3. Differences in thermal diffusivities predicted with equation (10) (Unit: %)

Heating temperature		Water fraction			
		0.50	0.60	0.70	0.80
80℃	PP	-0.96	-0.96	-0.95	-0.94
	PFM	0.96	0.68	0.44	0.23
100℃	PP	1.23	1.41	1.57	1.71
	PFM	-1.43	-1.18	-0.96	-0.77
120℃	PP	1.95	1.82	1.70	1.60
	PFM	-2.33	-2.37	-2.40	-2.43

PP: Pork products,
PFM: Pork products containing fish meat.

온도에서의 열확산도를 큰 오차없이 예측할 수 있다는 결론을 얻었다.

요 약

축육·어육 혼합 가공품의 실제 열처리 온도 범위에서 적용가능한 열확산도 추정식을 제시하고자, 식염 1.5%, 중합인산염 0.2%, lard 및 대두단백질을 임의의 농도로 혼합한 돼지고기와 말취치육의 혼합육을 사용하여 열전달실험을 행하고 열확산도 추정식을 구하였다.

수분함량 49.01~77.55%, 가열온도 80.76~121.03℃의 범위에서 열확산도는 동일 온도에서는 수분함량의 증가에 따라, 동일 수분함량에서는 가열온도가 높아짐에 따라 커졌으며, 각 온도에서의 실측 열확산도는 다음의 식들로 나타낼 수 있었다.

$$\alpha_{p,(80.76 \pm 0.3^\circ\text{C})} = 0.0870 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0689 \cdot 10^{-6}, (m^2 \cdot s^{-1})$$

$$\alpha_{p,(98.57 \pm 0.3^\circ\text{C})} = 0.0862 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0845 \cdot 10^{-6}, (m^2 \cdot s^{-1})$$

$$\alpha_{p,(121.03 \pm 0.5^\circ\text{C})} = 0.0932 \cdot 10^{-6} \cdot X_w + 0.0939 \cdot 10^{-6}, (m^2 \cdot s^{-1})$$

이들 식들을 정리하여 구한 임의의 열처리 온도에서의 열확산도 추정식은 다음과 같았으며, 실측치를 기준으로 한 추정치의 최대 오차는 ±0.8%였다.

$$\alpha_p = (3.045 + 0.59 \cdot X_w) \cdot \alpha_w + 0.0098 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.4287 \cdot 10^{-6}, (m^2 \cdot s^{-1})$$

문헌에 발표된 돼지고기 가공품의 열확산도 추정식과 본 연구에서의 축육·어육의 혼합육 가공품의 열확산도 추정식을 종합한 이들 가공품의 열확산도 추정식은 다음과 같았으며, 실측치를 기준으로 한 추정치의 최대 오차는 $\pm 2.5\%$ 였다.

$$\alpha_p = (2.290 + 0.54 \cdot X_w) \cdot \alpha_w + 0.0024 \cdot 10^{-6} \cdot X_w - 0.3535 \cdot 10^{-6}, (m^2 \cdot s^{-1})$$

감사의 글

본 연구는 부산수산대학교 해양산업개발연구소(ERC) 해양식량개발연구부와 한국냉장주식회사와의 협력에 의하여 수행되었음을 밝힙니다.

참고 문헌

- Carslaw, H. S. and J. C. Jaeger. 1959. Conduction of heat in solids. Oxford Univ. Press, Oxford, England, p. 150.
- Dickerson, R. W. Jr. and R. B. Jr. Read. 1968. Calculation and measurement of heat transfer in foods. *Food Technol.*, 22, 1533~1545.
- Gaffney, J. J., C. D. Baird and W. D. Eshleman. 1980. Review and analysis of the transient method for determining thermal diffusivity of fruits and vegetables. *ASHRAE Trans.*, 2, 261~280.
- Han, B. H. and M. Loncin. 1984. Thermal diffusivities of fish products. *Lebens. Wiss. U. Technol.*, 159.
- Martens, T. 1980. Mathematical model of heat processing in flat containers. Ph. D. Thesis. Katholieke Univ., Leuven, Belgium.
- Nesvadba, V. E. and C. Eunson. 1984. Moisture and temperature dependence of thermal diffusivity of cod mince. *J. Food Technol.*, 59, 585~592.
- Newman, A. B. 1930. Temperature distribution in initially heated cylinder. *Trans. Amer. Inst. Chem. Eng.*, 24, 315~316.
- Ramaswamy, J. W., K. V. Lo and M. A. Tung. 1982. Simplified equations for transient temperatures in conductive food with convective heat transfer at the surface. *J. Food Sci.*, 47, 2042~2047.
- Riedel, L. 1969. Temperaturleitfähigkeitsmessungen an wasserreichen Lebensmitteln. *Kältetechnik-Klimatisierung*, 21, 315~316.
- Rizvi, S. S. H., J. L. Bleisdell and W. J. Haper. 1980. Thermal diffusivities of model meat analog system. *J. Food Sci.*, 45, 1727~1731.
- 朴哲煥. 1990. 畜肉製品의 熱擴散度 推定에 關한 研究. 釜山水產大學校 產業大學院 碩士學位請求論文.
- 崔秀逸 · 韓鳳浩 · 金鍾鐵 · 裴泰進 · 趙顯德. 1988-a. 煙製品類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 對한 影響. 韓水誌, 21(5), 288~291.
- 崔秀逸 · 韓鳳浩 · 金鍾鐵 · 裴泰進 · 趙顯德. 1988-b. 煙製品類의 熱擴散度 推定에 關한 研究. 4. 白色肉 魚肉 煙製品의 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. 1988-a. 煙製品類의 熱擴散度 推定에 關한 研究. 1. 成分組成 및 텍스처의 熱擴散度에 對한 影響. 韓水誌, 21(5), 277~287.
- 韓鳳浩 · 崔秀逸 · 金鍾鐵 · 裴泰進 · 趙顯德. 1988-b. 煙製品類의 熱擴散度 推定에 關한 研究. 3. 加熱媒體의 熱擴散度에 對한 影響. 韓水誌, 21(5), 292~296.
- 韓鳳浩 · 崔秀逸 · 金鍾鐵 · 裴泰進 · 趙顯德. 1988-c. 煙製品類의 熱擴散度 推定에 關한 研究. 5. 赤色肉 魚肉 煙製品의 熱擴散度. 韓水誌, 21(6), 366~370.

1992년 11월 6일 접수

1993년 1월 5일 수리