

모형식품의 열확산도에 관한 연구

장규섭 · 김동만* · 김재욱**

충남대학교 식품가공학과, *한국과학기술원 생물공학부, **서울대학교 식품공학과

Studies On Thermal Diffusivity of Model Foods

Kyu-Seob Chang, Dong-Man Kim** and Jae-Uk Kim**

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

*Division of Bio-engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Seoul.

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

Abstract

The model foods similar to general Korean foods were prepared by combining starch, protein and moisture, and relationship between their thermal diffusivities and components were investigated. Thermal diffusivity of the model foods tended to be proportional with the moisture content. Under the same level of moisture content of the model foods, thermal diffusivity of the starch foods was higher than that of the protein foods, but no interaction among components was found. The measured values was quite agreed upon with the calculated values with 3.60 residual percent. The regression equations between thermal diffusivity and moisture, protein and starch contents at 20°C and 60°C were $\alpha_{20^\circ\text{C}} = 0.04911M + 0.37355P + 3.73072$, $\alpha_{60^\circ\text{C}} = 0.05353M - 0.4766P + 4.15136$, respectively. The correlation coefficients obtained according to the above equation were 0.9650** and 20°C and 0.9002** at 60°C.

서 론

전보^(1,2)에서 보고한 바와 같이 식품은 그 종류와 가공공정에 따라서 상태가 광범위하게 변화하며, 반고체 상태를 유지하는 조건하에서 열특성과 구성분과의 관계는 매우 중요하다. 이와 같은 관계는 한국식품의 대부분이 수분, 단백질, 전분으로 구성되어 있기 때문에 식품열처리 공정의 기본자료를 확립하기 위하여 열확산도의 구명은 필수적이라 할 수 있다. 특히 열확산도는 식품을 소정의 온도에서 처리할 때, 냉점에 도달하는 시간을 산출하는데 활용될 수 있는 것으로서 현재 한국의 주요 가공대상식품에 대한 열확산도의 자료는 거의 없는 실정이다. 특히 고추장이나 된장과 같이 압력에 의하여 관내를 이동할 수 있는 식품은 열확산도치가 밝혀지므로써 가열부의 통과속도를 조절할 수 있어 합리적인 열처리를 수행하는데 크게 도움을 줄 수 있으며, 이밖에 반고체식품은 아니지만, 곡류, 어육류, 과채류등의 저장, 냉장, 조리등에 필요한 장치를 설계운영하는 데도 크게 활용될 수 있을 것으로 본다.

본 연구에서는 조제된 모형식품이 각 성분분 에 따라 열확산도가 어떻게 변화하는가를 제작한 장치로 실측하고, 이를 근거로하여 회귀분석식을 도출 하였으며,

이 회귀식과 실측치간의 교호작용을 검토하였다. 이와 같이 정립한 관계식을 바탕으로 식품의 모양과 크기에 알맞는 좌표(Coordinate)를 적절히 선택하고 경계조건을 부여하므로써 열의 확산속도를 예측할 수 있는 몇 가지 결과를 얻었기에 열특성 연구의 기초자료로 제시하고자 보고하는 바이다.

재료 및 방법

재료

모형식품의 조제는 감자전분과 분리대두단백을 사용하였으며, 정제방법은 전보^(1,2)와 같다. 또한 모형식품 조제용 재료의 일반성분이나 조제 및 조성도 전보^(1,2)에서와 같이 수분, 감자전분 및 분리대두단백의 세가지 성분을 조합하여 모형식품을 만들었으며, 이때의 수분은 4%함량 차이로 5개 수준으로 하였고, 전분과 분리대두 단백을 0:4에서 4:0까지 7개수준으로 조합하여 35종의 모형식품을 조제하였다.

열확산도의 측정

열확산도의 측정방법은 Carlslaw^(3,4)와 Dickerson⁽⁵⁾의 이론을 기초로 열확산도를 측정할 수 있는 장치를 제

작하여 사용하였으며, 그 원리와 장치의 구조는 전보⁽¹⁾와 같은 방법으로 수행하였다.

결과 및 고찰

모형식품을 초기온도 20°C로 하고 항수에 도달하는 40분후에 수분함량이 86%인 P₀S₄, P₁S₁ 및 P₄S₀의 온도차이 ΔT는 Table 1과 같다. 이 Table로부터 ΔT를 구하기 위하여 그림을 그려본 결과 Fig 1과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 ΔT는 22.2°C, 22.4°C였으며 이들

$$\text{값을 식 } \alpha = \frac{A_r^2}{(T_r - T_0)}$$

에 대입하여 산출한 열확산도계수는 각각 0.0812, 0.0797 cm²/min였으며 다른 모형식품의 결과는 Table 2와 같다. 한편 모형식품의 수분함량을 5개수준으로 단백질과 전분함량을 7개수준으로한 35개 모형식품에 대하여 열확산도와 이들 식품의 구성분 즉 수분함량, 단백질 및 전분함량과의 관계를 더 세밀하게 분석하기 위

하여 분산분석^(6,7)을 컴퓨터에 의하여 처리한 결과는 Table 3과 같다. 20°C와 50°C에서 각 수준의 수분함량, 단백질 및 전분함량과의 평균열확산도 사이에는 유의차가 인정되지 않았다. 이것을 다시 열확산도와 수분함량과의 관계, 열확산도와 단백질 및 전분함량과의 관계를 분할하여 주요효과와 교호작용을 검정하였던바, 열전도도⁽²⁾에서와 같이 수분함량과 각수준간의 단백질 및 전분함량간에는 각각 고도의 유의차가 인정되었으나, 수분함량과 단백질 및 전분함량사이의 교호작용에서는 전혀 유의성이 인정되지 않았고 따라서 상호영향을 미치지 않았다. 각 수준의 수분함량에서 단백질 및 전분함량의 차이에 따르는 열확산도 변화는 비슷한 경향을 나타내었다. 한편 열확산도 실측치와 열전도도, 밀도, 비열과의 관계식; $\alpha = \frac{K}{C_p \cdot \rho}$ 에 의한 계산치를 비교하기 위하여 張等⁽¹¹⁾이 발표한 방법으로 모형식품의 비열과 밀도를 측정 한 결과는 Table 4와 5와 같다.

Table 1. The temperature changes at the center and surface of cylindrical cell with model foods (P₀S₄, P₁S₁) containing 86% of moisture at the initial temperature of 20°C and 60°C

Heating time (min)	P ₀ S ₄		P ₁ S ₁		P ₄ S ₀	
	Center	Surface	Center	Surface	Center	Surface
0	20	20	20	20	20	20
10	21.8	30.2	22.0	30.8	20.6	29.8
20	24.0	40.3	22.7	43.0	21.8	38.6
30	30.2	52.1	29.2	53.2	24.1	46.5
40	40.3	62.5	42.2	65.7	34.7	57.1
50	51.7	73.8	53.8	78.3	43.5	65.2

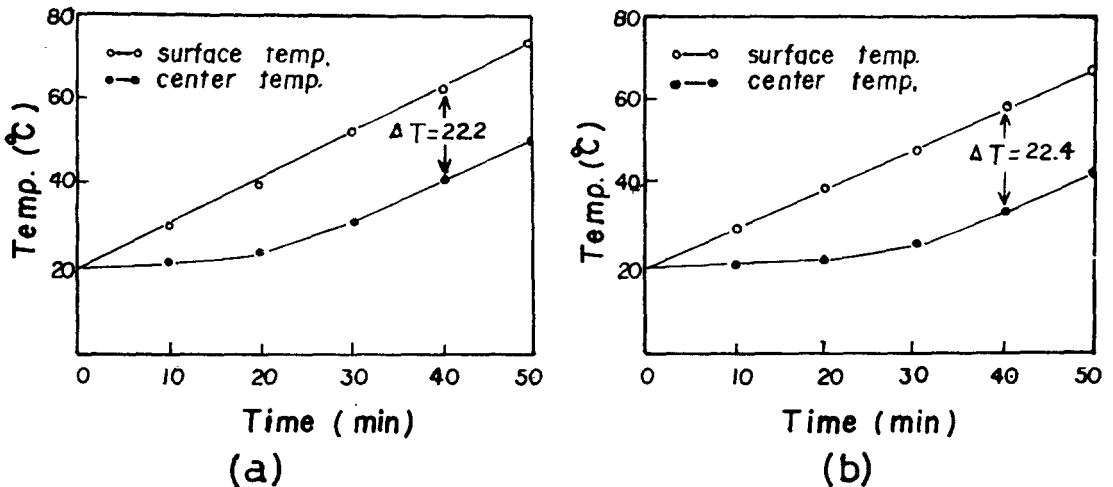


Fig. 1. Time-temperature relationship of thermal diffusivity test for P₀S₄ (a) and P₄S₀ (b) containing 86% of moisture

비열은 반복 실험치간에 큰 차이가 없으며 낮은 편차를 나타내고 있다. 모형식품중 단백질을 함유하지 않고 전분과 수분만으로 구성된 P_0S_0 에서 78%수분함량의 경우, $0.768\text{cal}/\text{kg}^\circ\text{C}$ 였고, 전분을 함유하지 않고 단백질과 수분만으로 구성된 P_1S_0 에서는 같은 수분함량의 경우, $0.805\text{kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}$ 로서 전분만으로 이루어진 식품보다 높았다. 일반적으로 모형식품의 비열은 어느것이나 모두 수분함량의 증가에 따라 비열은 높아졌으며, 감자⁽⁸⁾와 소맥분⁽⁹⁾에 대하여 검토한 보고에 따르면 비열은 수분함량과 밀접한 관련을 갖고 있으며, 비례관계가 있지만 수분함량이 아주 낮거나 높으면 물이 구성물과의 수화작용(水和作用)으로 비례관계에서 벗어나게 된다고 하였다. 한편 밀도는 Table 5에서와 같이 전분과 수분만으로만 이루어진 모형식품 P_0S_0 가 단백질과 수분만으로만 구성된 P_1S_0 보다 더 높았으며 단백질과 전분이 1:1로 섞인 P_1S_1 에서 78% 수분함량일 때의 밀도는 $1.075\text{g}/\text{cm}^3$ 였다.

이상에서 비열, 밀도 및 열전도⁽²⁾에 의한 계산식으로부터 구한 열확산도와 실측치의 결과는 Table 6에서와 같다. 즉 식에 의한 계산치의 평균값은 $0.0779\text{cm}^2/\text{min}$ 로서 실측치의 평균값 $0.0803\text{cm}^2/\text{min}$ 보다 $0.0024\text{cm}^2/\text{min}$ 가 더 낮았으며, 평균 잔여율(Residual)은 3.60%로서 이들 두값 사이에는 큰 차이가 없음을 보여주고 있는데, 이러한 사실은 측정된 밀도, 열전도도, 열확산도 값이 큰 오차가 없음을 시사하고 있다. 본 실험에서 사용한 모형식품과 비슷한 식품에 관한 열확산도의 보고는 없으나, 감자의 경우⁽¹⁰⁾를 보면 83% 수분함량에서 $0.0978\text{cm}^2/\text{min}$ 이었고, 사과⁽¹¹⁾에 있어서는 $0.0978\text{cm}^2/\text{min}$ 였다. Kazarin⁽¹²⁾은 곡물, 냉동어류, 건조양송이등에서 각각 열확산도의 측정치와 계산치를 비교하였는데, 5%미만의 편차율을 나타냈으며, 따라서 식에 의한 열확산도 산출도도 높은 신뢰성이 있다고 보겠다. 그러므로 열확산도는 열전도도, 비열 및 밀도를 정확하게 측정할 수 있다면 이들 관계에 의한 식으로도 산출할 수 있으므로 실제 측정의 번거로움을 피할 수 있다고 보겠다.

열확산도와 단백질 및 전분함량과의 관계를 보면, 단백질 및 전분함량의 각 수준에서 수분함량을 달리하였을때 열확산도 변화는 Table 6에서와 같이 열전도도와 유사하게, 교호작용이 나타나지 않았으며, 따라서 수분함량과 단백질 및 전분함량이 모형식품의 열확산도에 미치는 영향은 독립적이라고 볼 수 있겠다. 이들 성분과 열확산도의 변화를 상세히 검토하기 위하여, 수분함량과 단백질 및 전분함량을 달리하였을때 열확산도의 변화를 회귀분석⁽¹³⁾으로 구하였던바, 초기온도

Table 2. Thermal diffusivity of model foods

 (cm^2/min)

Food	Moisture (%)	Measuring temperature ($^\circ\text{C}$)	
		20	60
P_0S_0	78	0.0772	0.0840
	82	0.0779	0.0866
	86	0.0812	0.0892
	90	0.0812	0.0895
	94	0.0848	0.0918
P_1S_0	78	0.0764	0.0835
	83	0.0784	0.0856
	86	0.0784	0.0867
	90	0.0786	0.0904
	94	0.0827	0.0904
P_1S_2	78	0.0756	0.0840
	82	0.0765	0.0836
	86	0.0771	0.0838
	90	0.0796	0.0865
	94	0.0807	0.0892
P_1S_1	78	0.0749	0.0810
	82	0.0746	0.0807
	86	0.0758	0.0824
	90	0.0776	0.0844
	94	0.0798	0.0887
P_2S_1	78	0.0715	0.0786
	82	0.0678	0.0779
	86	0.0770	0.0832
	90	0.0783	0.0856
	94	0.0815	0.0905
P_3S_1	78	0.0720	0.0796
	82	0.0758	0.0833
	86	0.0798	0.0864
	90	0.0808	0.0874
	94	0.0814	0.0885
P_4S_0	78	0.0699	0.0777
	82	0.0743	0.0808
	86	0.0797	0.0848
	86	0.0797	0.0848
	90	0.0797	0.0864
94	0.0801	0.0884	
Mean		0.0777	0.850

Table 3. Analysis of variance for thermal diffusivity of model foods

Source of variation	df	Mean square of thermal diffusivity	
		20°C	60°C
Treatment	34	0.3950**	0.43391**
Moisture	4	2.0760**	2.42348**
Protein, Starch	6	0.4312**	0.58600**
Interaction	24	0.1076	0.06430
Error	70	0.0697	0.06297

*.df denote degree of freedom

가 20°C일때 각 수분함량에서는 단백질의 함량이 증가함에 따라 열확산도도 직선적인 감소경향을 나타내었으며, 60°C에서도 단백질 분율에 따라 78% 수분함량에서는 직선적인 감소경향을 나타내었다. 이때에 각 온도에서 78% 수분함량일때 1차식 또는 2차식으로 표시하면 다음과 같다.

$$\alpha 20^\circ\text{C} = 0.077917 - 0.007977P \text{ 또는 } \alpha 20^\circ\text{C} = 0.07752 - 0.005367P - 0.0026P^2 \dots\dots\dots(1)$$

$$\alpha 60^\circ\text{C} = 0.084893 - 0.007386P \text{ 또는 } \alpha 60^\circ\text{C} = 0.008461 - 0.005537P - 0.001848P^2 \dots\dots\dots(2)$$

열확산도와 수분함량과의 관계를 보면 단백질 및 수분함량이 일정하고 수분함량을 달리하였을때 20°C에서

Table 4. Specific heat of model foods

Food		(kcal/kg °C)									
		78%		82%		86%		90%		94%	
		Average*	SD	Average	SD	Average	SD	Average	SD	Average	SD
P ₀	S ₄	0.768	0.021	0.805	0.010	0.814	0.020	0.846	0.016	0.904	0.028
P ₁	S ₃	0.773	0.037	0.814	0.042	0.842	0.020	0.872	0.023	0.907	0.029
P ₁	S ₂	0.784	0.041	0.803	0.017	0.843	0.025	0.868	0.052	0.914	0.014
P ₁	S ₁	0.774	0.032	0.808	0.025	0.840	0.019	0.875	0.030	0.927	0.021
P ₂	S ₁	0.784	0.018	0.820	0.033	0.867	0.026	0.882	0.015	0.946	0.029
P ₃	S ₁	0.787	0.033	0.822	0.012	0.871	0.054	0.908	0.041	0.954	0.012
P ₄	S ₀	0.805	0.021	0.842	0.029	0.872	0.027	0.916	0.030	0.958	0.022

* Average value of 4 to 6 replicates

Table 5. Apparent density of model foods

Food		(g/cm ³)									
		78%		82%		86%		90%		94%	
		Average*	SD	Average	SD	Average	SD	Average	SD	Average	SD
P ₀	S ₄	1.092	0.0122	1.074	0.0101	1.059	0.0129	1.042	0.0106	1.030	0.0082
P ₁	S ₃	1.085	0.0095	1.070	0.0092	1.058	0.0086	1.037	0.0116	1.026	0.0113
P ₁	S ₂	1.083	0.0083	1.066	0.0157	1.050	0.0050	1.035	0.0136	1.022	0.0141
P ₁	S ₁	1.075	0.0092	1.060	0.0129	1.046	0.0056	1.030	0.0089	1.030	0.0096
P ₂	S ₁	1.072	0.0067	1.057	0.0109	1.042	0.0085	1.032	0.0066	1.020	0.0072
P ₃	S ₁	1.071	0.0144	1.058	0.0104	1.040	0.0133	1.028	0.0098	1.018	0.0102
P ₄	S ₀	1.068	0.0102	1.051	0.0114	1.039	0.0061	1.029	0.0098	1.016	0.0063

* Average value of 4 to 6 replicates

Table 6. Comparison of the measured and calculated thermal diffusivity of model foods

Food	Moisture content (%)	Thermal diffusivity (cm ² /min)		Residual	Residual (%)
		Measured	Calculated		
P ₀ S ₁	78	0.0772	0.0775	-0.0003	-0.39
	82	0.0779	0.0791	-0.0012	-1.54
	86	0.0812	0.0813	-0.0001	-0.12
	90	0.0812	0.0813	-0.0001	-0.12
	94	0.0848	0.0788	-0.0006	-0.71
P ₁ S ₁	78	0.0764	0.0775	-0.0011	-1.44
	82	0.0784	0.0785	-0.0001	-0.13
	86	0.0784	0.0795	-0.0011	-1.38
	90	0.0786	0.0793	-0.0007	-0.88
	94	0.0827	0.0806	+0.0021	+2.61
P ₁ S ₂	78	0.0756	0.0785	-0.0029	-3.69
	82	0.0765	0.0778	-0.0013	-1.67
	86	0.0771	0.0791	-0.0020	-2.53
	90	0.0796	0.0804	-0.0008	-1.00
	94	0.0807	0.0820	-0.0013	-1.59
P ₁ S ₃	78	0.0749	0.0801	-0.0052	-6.49
	82	0.0746	0.0779	-0.0033	-4.24
	86	0.0758	0.0816	-0.0058	-7.11
	90	0.0776	0.0814	-0.0038	-4.67
	94	0.0798	0.0829	-0.0031	-3.74
P ₂ S ₁	78	0.0715	0.0774	-0.0059	-7.61
	82	0.0678	0.0789	-0.0111	-14.07
	86	0.0770	0.0793	-0.0023	-2.90
	90	0.0783	0.0824	-0.0041	-4.98
	94	0.0815	0.0812	+0.0003	+0.37
P ₃ S ₁	78	0.0720	0.0791	-0.0071	-8.98
	82	0.0756	0.0805	-0.0047	-5.84
	86	0.0798	0.0828	-0.0030	-3.62
	90	0.0808	0.0822	-0.0014	-1.70
	94	0.0814	0.0824	-0.0010	-1.21
P ₄ S ₁	78	0.0699	0.0814	-0.0115	-14.23
	82	0.0743	0.0791	-0.0048	-6.07
	86	0.0797	0.0828	-0.0031	-3.74
	90	0.0797	0.0814	-0.0017	-2.09
	94	0.0801	0.0839	-0.0038	-4.53
Mean		0.0779	0.0803	-0.0024	-3.60

수분함량의 증가에 따라 모두 직선적인 증가를 보였으며, 60°C에서도 20°C에서의 마찬가지로 비슷한 경향을 보여 주고 있었다. 예로서 수분함량을 알았을때 각 모형식품중 P₀S₄의 열확산도 산출공식은 다음의 1차 또는 2차식으로 나타낼 수 있다.

$$\alpha_{20^\circ\text{C}} = 0.02127 + 0.000645M \text{ 또는 } \alpha_{20^\circ\text{C}} = -0.419384 + 0.010937M - 0.000059M^2 \dots\dots\dots(3)$$

$$\alpha_{60^\circ\text{C}} = 0.02557 + 0.000675M \text{ 또는 } \alpha_{60^\circ\text{C}} = -0.125697 + 0.004208M - 0.000021M^2 \dots\dots\dots(4)$$

수분함량과 단백질 및 전분함량이 동시에 변화할때 열확산도 산출식을 정립하기 위하여 다중회귀식을 구하였다. 즉 수분함량이 78%이상의 범위로서 주로 단백질과 전분으로 이루어진 열확산도는

$$\alpha_{20^\circ\text{C}} = 0.04911M + 0.37355P + 3.73032 \dots\dots\dots(5)$$

$$\alpha_{60^\circ\text{C}} = 0.05353M - 0.4766P + 4.15136 \dots\dots\dots(6)$$

였으며 이들 식을 이용하면 열확산도를 직접 측정하지 않고도 구할 수 있다.

위의 다중회귀식의 부합도검정을 위한 회귀분산분석 결과는 Table 7에서와 같다.

20°C 및 열확산도에 의한 다중회귀는 높은 유의성이 인정되었으며, 따라서 측정치와 다중회귀식에 의한 계산치가 잘 일치되고 있음을 나타내고 있다, 한편 이들의 상관관계를 보면 Fig 2에서와 같이 20°C에서는 r = 0.9650**이었고, 60°C에서는 r = 0.9002*로서 각각 높은 상관관계를 보여주고 있어 측정치와 계산치간에 부합율이 높음을 재확인할 수 있다.

또한 열확산도와 수분함량, 단백질 및 전분함량과의 관계를 종합적으로 검토하기 위하여 식에 의해 산출된 열확산도를 대응표면(對應表面)으로 나타내어 설명하

여보면, Fig 3에서와 같이 20°C에서는 수분함량이 증가함에 따라 증가하였고 동일 수분함량에서는 단백질 분율이 높아짐에 따라 낮아졌다. 60°C에서도 20°C에서의 유사한 경향을 나타내고 있는데 수분함량이 78%에서 단백질 분율이 1인 모형식품, 즉 P₁S₄는 0.0785cm²/min인 것이 수분함량을 94%로 증가시켰을때는 0.0871cm²/min로 상승하였고, 같은 87%수분함량에서 단백질 분율이 0인것, 즉 P₀S₄는 0.0833cm²/min로서, 단백질함량이 낮아지고 전분함량이 높아짐에 따라 열확산도도 높아졌다. 한편 대응표면에 의한 변화율을 비교하여 보면 20°C에서보다 60°C에서 더 높아졌다. Wardsworth⁽¹⁴⁾는 고구마에서 초기온도를 달리하였을 때 열확산도의 변화를 검토하였는데 33°C에서는 0.064cm²/min, 55°C에서는 0.0828cm²/min, 70°C에서는 0.1135cm²/min로 온도가 높아짐에 따라 점차 상승하다가 80°C에서는 0.0706cm²/min로 떨어졌는데 이는 70°C에서 80°C 사이에 전분분자의 겔화 현상에 기인한

Table 7. Analysis of multiple regression between components and thermal conductivity of model foods at 20°C and 60°C

Source of variation	df	Mean square of thermal diffusivity	
		20°C	60°C
Regression	2	0.0116**	0.1642**
Moisture	1	0.0198**	0.3089**
Protein, Starch	1	0.0034**	0.0195**
Deviation	32	0.0005	0.0008

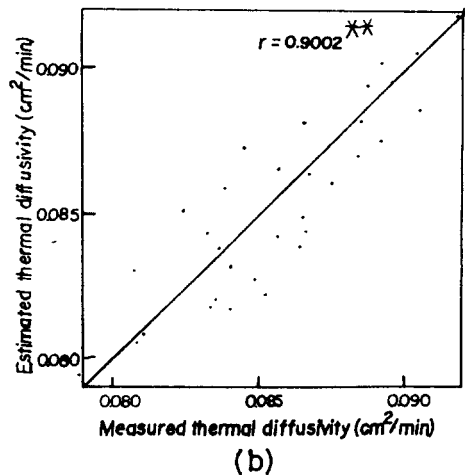
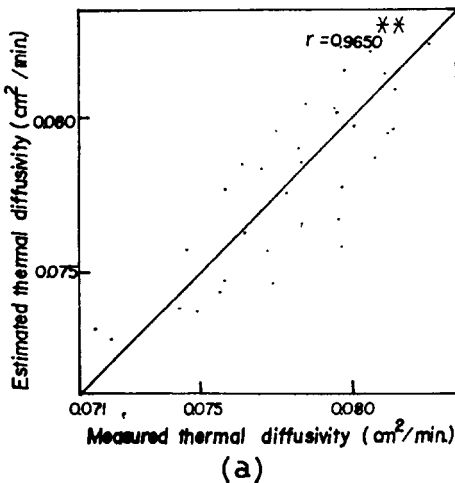


Fig. 2. Relationship between the measured and estimated thermal diffusivity at 20°C (a) and 60°C (b)

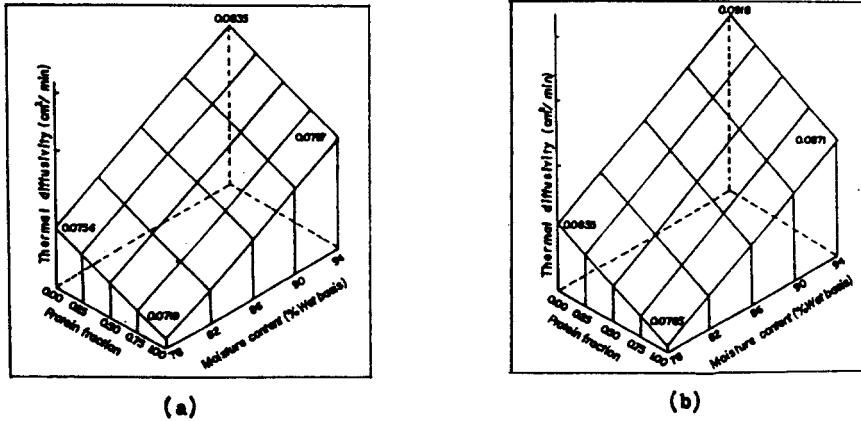


Fig. 3. Response surface for the estimated thermal diffusivity of model food at 20°C (a) and 60°C (b)

것으로 추정하고 있다. Mattew⁽¹⁵⁾는 전분질곡물에서 초기온도를 달리하였을때 열확산도 변화를 컴퓨터에 의해 다항식으로 나타낸바 있으며, 이외에도 몇몇식품에 대해 이와 유사한 보고⁽¹⁶⁾가 있다.

요 약

전분, 단백질 및 수분으로 주로 구성된 한국의 일반 식품과 유사한 모형식품을 이들 세가지 주성분을 조합하여 만들었으며, 이 모형식품의 열확산도를 측정하고 주성분과의 관계를 구명하였다. 모형식품의 열확산도는 수분함량에 비례하는 경향이었고, 동일 수분함량에서는 전분질식품이 단백질 식품보다 높은 값을 나타냈으며 성분간의 교호작용은 유의성이 인정되지 않았다. 측정치와 계산치간의 오차는 잔여율이 3.60%로서 부합도가 높았다. 모형식품에서 열확산도와 수분함량, 단백질 및 전분함량과의 관계식은 다음과 같다. 즉, $\alpha_{20^\circ\text{C}} = 0.04911M + 0.37355P + 13.7302$, $\alpha_{60^\circ\text{C}} = 0.0535M - 0.4766P + 4.15136$, 이식을 이용한 산술치와 측정치간의 상관계수는 20°C에서 0.9650**, 60°C에서 0.9002**로 고도의 유의 상관관계를 나타내었다.

기 호

- A = linear rate of heating, °C/min
- R = radius of a cylindrical cell, cm
- T₀ = temperature at the center of a cylindrical cell, °C
- T = temperature at the surface of a cylindrical cell, °C
- α = thermal diffusivity, cm²/min

문 헌

1. 張奎燮, 全在根; 한국식품과학회지, 14, 112(1982)
2. 張奎燮, 全在根, 尹漢教; 한국식품과학회지, 17, 482 (1985)
3. Carlslaw, H.S. and Jaeger, J.C.: *Operational Methods in Appl. Mathematics*, Doner Pub. (1963)
4. Carlslaw, H.S. and Jaeger, J.C.: *Conduction of Heat in Solids*, Oxford Univ. Press (1959)
5. Dickerson, Jr. R.W.: *Food Tech.*, 19, 880 (1965)
6. Bennet, C.A. and Franklin, N.L.: *Statistical Analysis in Chem. and Ind.*, John Wiley (1954)
7. Cooley, W.W. and Lohnes, P.R.: *Multivariate Procedure for the Behavial Science*, John Wiley (1962)
8. Yamada, T.: *J. Agr. Chem.*, 44, 587 (1970)
9. Disney, R.W. and Threadgill, E.D.: *Trans. ASAE*, 20, 589 (1977)
10. Sweat, V.E.: *J. Food Sci.*, 39, 1080 (1974)
11. Rao, M.A. and Barnard, J.F.: *Trans. ASAE*, 18, 1188 (1975)
12. Kajarin, E.A. and Henderson, F.Y.: *Trans. ASAE*, 38, 33 (1944)
13. Ezekiel, M.: *Methods of Correlation Analysis*, John Wiley (1953)
14. Wardworth, J.I. and Spardo, J.J.: *Food Tech.*, 23, 219 (1969)
15. Mattew, F.V. Jr. and Hall, C.W.: *Trans. ASAE*, Paper No. 67-320 (1967)
16. Chen, A.C. and Heldman, D.R.: *Trans. ASAE*, 69-385 (1960)

(1985년 10월 10일 접수)