

액체식품의 밀도예측을 위한 모델링

최 용 희

경북대학교 식품공학과

Modeling for the Prediction of Liquid Food Density

Yong-Hee Choi

Department of Food Engineering Kyung Pook National University, Taegu

Abstract

For the development of a general mathematical model to predict the density of liquid foods based on temperature and composition of each major component, the major components of liquid foods considered in this study were water, protein, fat, carbohydrate, fiber and ash. These samples were subdivided into sixteen pure components. The density of each sample was measured by a volumetric pycnometer at the temperature range of 0°C to 100°C for three different solid content suspensions. The density values of pure component solids were calculated from the assumed model at given temperature, using the experimental values of three different solid content suspensions with known water fraction and density model of water. Using these calculated density data at the temperature range of 0°C to 100°C, the coefficients of their density model for each pure component were determined by the OPT Subroutine Program. The density model developed in this study can be used to predict the density values of liquid foods at given temperature and composition.

Key words: liquid food, density, prediction model

서 론

식품의 제품 생산 과정에서 각 성분의 온도 변화에 따른 부피의 변화는 제조공정 및 저장조건등에 지대한 영향을 미치는 요인중의 하나이다. 그러나 현재까지 보고된 임의의 온도에서 액체 식품의 밀도를 예측할 수 있는 모델은 특정된 식품과 제한된 온도 범위에서 행하여 졌다. 그리하여 본 연구과제의 목적은 보다 근본적인 차원에서 액체식품의 주요성분들의 밀도를 각각 측정하여 일반적으로 액체식품의 밀도를 예측할 수 있는 수학적인 모델로 발전시키고자 하는 데 있다.

현재까지 문헌에 보고된 주요 밀도 예측모델에 대하여 종합 검토한 결과, Riedel(1949)⁽¹⁾은 과실의 refraction index(n)를 측정하여 과실 쥬스의 밀도를 예측할 수 있는 다음과 같은 모델을 보고하였다.

$$\rho = [(n^2 - 1) / (n^2 + 2)] \times (62.4 / 0.206) \times (16.0185)$$

또한 Short(1955)⁽²⁾는 우유의 밀도를 10°C와 45°C사이의 범위에서 측정하여 다음과 같은 온도의 함수로 나타내

었다.

$$\rho = 1035.0 - 0.358T + 0.0049T^2 - 0.00010T^3$$

Watson(1961)⁽³⁾은 우유의 밀도를 온도와 fat(X_F)과 nonfat(X_{NF})의 함수로 예측모델을 발전시켰다.

$$\rho = 1003.073 - 0.179T - 36.8X_F + 374.4X_{NF}$$

그 후 Munro(1980)⁽⁴⁾는 온도 범위 16°C-50°C에서 sodium caseinate 용액의 밀도예측 모델을 발표하였다.

$$\rho = 1384.4 - 0.923(T - 20)$$

Kubota(1980)⁽⁵⁾는 설탕, 소금용액과 우유에 대한 밀도를 제한된 농도(0-30%)와 온도(10°C-50°C)에서 측정하여 예측모델을 보고하였다. 이와 관련하여 본인이 기 발표한 연구 논문으로는 토마토 쥬스의 밀도를 온도와 수분 함량의 함수로서 예측할 수 있는 모델에 관한 연구⁽⁶⁾가 있다.

본 연구에서는 액체 식품의 주요성분을 분리 준비하여 밀도를 측정한 후 밀도의 정의에 근거를 둔 적절한 밀도 예측모델을 사용하여 가장 오차가 적은 범위에서 밀도를 예측할 수 있는 온도와 각 조성의 함수인 모델로 발전시

켜 액체 식품의 밀도 예측에 활용케 하고져 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 액체식품의 주요성분은 예측모델을 액체식품의 주요성분의 함수로 발전시키기 위하여 다음과 같이 water, protein, fat, carbohydrate, fiber, ash 등 6가지 성분으로 분류하였으며 다시 세분하여 16

가지의 주요성분을 분리 준비하였다. 그중 분말로 준비된 시료는 증류수를 사용하여 3종류의 서로 다른 농도의 현탁액을 만들어서 밀도측정에 사용하였다. 본 연구과제에서 사용한 식품의 주요성분중 수분을 제외한 나머지 성분들은 Table 1에서 보는 바와 같으며 이들 시료의 제조 및 준비는 온도와 조성이 식품성분의 열 전도도와 열확산도에 미치는 영향에 관한 연구⁽⁷⁾에서 행한 방법을 적용하여 준비하였다.

Table 1. Samples used in this study for the density measurements of major pure components in different food products

Food Products	Protein	Fat	Carbohydrate	Ash
Milk and milk products	Casein Whey protein	Milkfat	Lactose	Milk salts
Fruit and vegetable	(low)	Vegetable oil	Suger Starch Pectin Cellulose	-
Others	Albumin Gluten	Corn oil Lard	Dextrose	-

밀도측정

위에서 준비된 시료중 fat 성분을 제외한 나머지 분말 시료를 증류수를 사용하여 3종류의 서로 다른 농도의 현탁액 (10, 30, 60% 등)을 만들어서 volumetric pycnometer를 사용하여 0°C에서 100°C의 온도 범위에서 10°C씩의 간격으로 각각의 온도에서 시료의 무게를 정확히 측정함으로써 식품의 주요성분의 현탁액의 밀도를 계산하였다. 그런데 starch, cellulose, pectin과 같은 polysaccharide 성분은 그 분자내부에서 수분과 매우 강한 인력의 작용이 있기 때문에 현탁액을 만들기 위해서는 다른 성분에 비해 더 많은 수분이 필요하다. 그래서 수분 함량이 많을 때에만 균질 상태로 존재하기 때문에 10, 20, 30% 농도로 시료를 준비하여 밀도를 측정하였다. 저 농도의 현탁액은 28ml volumetric pycnometer를 사용하였고 고 농도의 현탁액은 semi-fluids 측정을 위하여 aluminum alloy로 만들어진 12 ml pycnometer를 사용하였다. fat성분의 밀도는 준비된 시료를 그대로 사용하여 위의 방법을 이용하여 측정하였다.

밀도예측모델

밀도 예측 모델을 수립하는 데 가장 간편한 모델 식이면서 오차가 적은 범위에서 주어진 조건에서의 예측 값을 얻을 수 있는 모델로 발전시키고져 본 연구과제에서 사용한 식품의 밀도 예측 모델식은 밀도의 정의에 의하여 식품의 주요구성 성분의 밀도(ρ_i)와 중량분율(X_i)의 함수로 다음과 같이 가정하였다.

$$\rho = \frac{M_T}{V_T} = \frac{M_T}{\sum \frac{M_i}{\rho_i}} = \frac{1}{\sum \frac{M_i}{M_T \rho_i}} = \frac{1}{\sum \frac{X_i}{\rho_i}}$$

여기서 M_T 는 시료 전체의 무게, V_T 는 시료 전체의 부피이며, M_i 는 각 성분의 무게이다. 위에서 측정된 각 순수성분과 물의 2-성분계 현탁액의 밀도 데이터로부터 주어진 온도에서 각 순수성분의 밀도는 다음의 식에 의하여 결정되어 진다.

$$\rho_s = \frac{X_s}{\frac{1}{\rho} - \frac{X_w}{\rho_w}}$$

여기서 ρ_s 는 각 순수 고체성분의 밀도이고 ρ_w 는 순수물

의 밀도이다. 3종류의 서로다른 농도의 현탁액으로부터 측정된 밀도값을 사용하여 주어진 온도에서 3개의 ρ_s 값을 위식을 사용하여 결정 한 다음 0°C에서 100°C사이에서 얻어진 모든 ρ_s 값을 SPSS와 Optimization Computer Program 을 이용하여 가장 오차가 적은 순수 성분 에 대한 각각의 밀도에측식을 얻고져 하였다.

결과 및 고찰

온도와 농도의 변화가 식품의 밀도에 미치는 영향

준비된 시료를 사용하여 3종류의 서로 다른 농도의 현탁액에 대한 밀도 측정 값들을 Table 2-Table 13에서 보는 바와같다. 일반적으로 온도가 올라감에 따라 부피의 팽창으로 인해 밀도값은 감소하는 경향이 있었으며 Table 2에서 보는 바와같이 albumin protein 현탁액의 밀도는 1°C 증가함에 따라 대략 0.45kg/m³의 감소현상이 나타났다. Fat 성분의 밀도는 Table 3에서 보는 바와같이 물의 밀도보다 낮은 값을 갖고 있는 것으로 나타났고 fat 을 제외한 나머지 식품 성분의 현탁액에 대한 밀도

는 물의 밀도보다 높은 값을 갖고 있는 것으로 관찰되었다.

식품의 주요성분의 밀도 예측 모델

순수한 액체수부의 밀도값은 문헌에 보고되어 있는 데이터를 이용하여 예측 모델식을 온도의 함수로 SPSS computer program 을 사용하여 구하였다. 물 분자는 다른 물질의 분자와는 특이하게 다르게 3.98°C에서 이웃 분자간의 거리가 최소의 값을 갖기 때문에 이 온도에서 최대의 밀도값을 갖는다. 그래서 이 온도보다 감소하거나 증가함에 따라 밀도값은 감소하게 된다. 그러므로 수분의 밀도에측식을 온도의 2차 함수식으로 발전시켜 얻은 모델은 다음과 같다. 그래서 이 모델식을 이용하여 2.15% 오차한계 내에서 0°C에서 100°C의 온도 범위에서 주어진 온도에서의 수분의 밀도를 예측할 수 있다.

$$\rho_w = 9.9718 \times 10^2 + 3.1439 \times 10^{-3}T - 3.7574 \times 10^{-3}T^2$$

실험을 통하여 측정 한 각 순수성분과 물의 2-성분제 현탁액의 밀도 데이터로부터 주어진 온도에서 각 순수성분의 밀도(ρ_s)를 앞에서 언급된 식을 이용하여 계산하였다. 사용한 시료중에서 albumin 에 대한 3종류의 서로 다른 농도의 현탁액의 밀도로부터 계산된 값을 plot 한 것이 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 다른 성분에 대하여 계산해 본 결과 albumin 의 경우와 유사한 경향을 나타내었다. 그림에 나타난 바와같이 순수한 성분의 밀도는 온도의 증가에 따라 1차 함수의 관계로 감소한다는 사실을 알게 되었다. 계산된 밀도 데이터로부터 0°C에서 100°C의 온도범위에서 각 순수성분의 밀도 예측 모델의 계수를 OPT subroutine 을 사용하여 결정하였고 이때 실험값과 모델값 사이의 상호 관계를 나타내는 standard error 값과 standard % error 값을 계산하였다. 그리하여 얻

Table 2. Density of albumin protein suspensions

Temperature (C°)	Density (kg/m ³)		
	10% solids	30% solids	60% solids
10	1019.3	1067.3	1146.5
20	1017.6	1065.9	1144.1
30	1015.5	1061.3	1142.4
40	1012.7	1057.4	1137.4
50	1009.5	1053.3	1131.3
60	1005.6	1051.3	1126.3
70	1000.4	1046.3	1121.4
80	994.7	1038.3	1116.9
90	988.3	1034.3	1108.3
100	981.4	1024.4	1102.7

Table 3. Density of fats

Temperature(C°)	Density (kg/m ³)			
	Milkfat	Vegetable oil	Lard	Corn oil
10	914.6	923.3	918.7	923.1
20	910.4	919.8	914.3	919.8
30	908.2	915.7	910.6	915.9
40	902.7	911.6	908.3	911.4
50	898.9	907.8	904.7	907.6
60	894.7	903.9	901.1	903.8
70	890.3	898.7	894.3	898.9
80	886.2	895.4	890.1	895.1
90	882.1	891.6	885.9	891.4
100	878.3	887.3	882.1	887.1

Table 4. Density of casein suspensions

Temperature(C°)	Density (kg/m ³)		
	10% solids	30% solids	60% solids
10	1032.2	1110.6	1254.3
20	1030.8	1109.4	1251.9
30	1028.8	1106.7	1248.4
40	1026.2	1103.7	1245.8
50	1027.8	1100.3	1240.3
60	1018.3	1095.4	1236.3
70	1013.2	1090.1	1229.5
80	1007.6	1084.3	1224.1
90	1001.3	1078.4	1218.7
100	994.5	1071.4	1212.4

Table 5. Density of gluten suspensions

Temperature(°C)	Density (kg/m ³)		
	10% solids	20% solids	30% solids
10	1019.1	1043.2	1073.3
20	1017.8	1041.4	1071.4
30	1016.1	1039.4	1068.9
40	1014.1	1036.6	1065.4
50	1008.4	1032.4	1061.3
60	1004.5	1028.7	1057.7
70	1001.3	1024.5	1053.4
80	994.3	1018.4	1048.5
90	989.3	1012.4	1043.3
100	981.4	1005.7	1035.4

Table 6. Density of whey protein suspensions

Temperature(°C)	Density (kg/m ³)		
	10% solids	20% solids	30% solids
10	1022.7	1078.4	1175.3
20	1021.6	1077.6	1173.2
30	1019.5	1074.3	1169.4
40	1016.4	1071.3	1165.4
50	1013.3	1067.1	1160.3
60	1008.7	1063.3	1156.3
70	1003.7	1057.4	1150.6
80	998.4	1051.5	1144.3
90	991.6	1045.1	1137.8
100	984.8	1038.6	1130.3

Table 7. Density of milk salt suspensions

Temperature(°C)	Density (kg/m ³)		
	10% solids	20% solids	30% solids
10	1067.9	1219.1	1548.2
20	1062.8	1214.0	1543.1
30	1057.8	1208.7	1538.5
40	1052.6	1203.5	1533.2
50	1047.6	1198.1	1528.1
60	1042.6	1192.6	1522.6
70	1037.4	1187.4	1516.1
80	1032.3	1182.2	1510.9
90	1027.3	1177.0	1504.8
100	1022.2	1171.4	1498.2

Table 8. Density of dextrose suspensions

Temperature(°C)	Density (kg/m ³)		
	10% solids	30% solids	60% solids
10	1039.2	1135.3	1319.3
20	1037.9	1133.8	1316.3
30	1036.2	1131.7	1313.3
40	1033.4	1128.1	1311.4
50	1029.6	1124.2	1308.1
60	1025.7	1120.7	1304.2
70	1020.8	1116.4	1298.2
80	1015.4	1110.8	1293.5
90	1008.9	1104.3	1286.4
100	1001.2	1097.2	1281.5

Table 9. Density of lactose suspensions

Temperature(°C)	Density (kg/m ³)		
	10% solids	30% solids	60% solids
10	1047.9	1142.6	1322.2
20	1042.7	1138.1	1318.3
30	1037.8	1132.9	1312.3
40	1032.8	1128.1	1308.9
50	1028.2	1123.8	1304.4
60	1022.7	1118.2	1299.8
70	1017.7	1113.4	1294.4
80	1013.0	1108.1	1289.9
90	1007.9	1103.6	1285.5
100	1003.0	1098.7	1281.2

Table 10. Density of sugar suspensions

Temperature(°C)	Density (kg/m ³)		
	10% solids	30% solids	60% solids
10	1039.2	1135.3	1319.3
20	1037.9	1133.8	1316.3
30	1036.0	1131.7	1314.3
40	1033.1	1129.2	1311.6
50	1029.7	1125.3	1307.1
60	1025.6	1121.1	1303.1
70	1020.7	1116.4	1298.5
80	1015.3	1110.7	1293.5
90	1008.7	1104.3	1287.2
100	1001.7	1097.4	1281.3

Table 11. Density of starch suspensions

Temperature(°C)	Density (kg/m ³)		
	10% solids	20% solids	30% solids
10	1023.2	1052.3	1081.2
20	1022.1	1049.5	1079.1
30	1020.4	1047.5	1077.1
40	1017.8	1045.3	1075.1
50	1014.5	1041.8	1070.3
60	1010.3	1037.2	1068.2
70	1005.3	1033.5	1062.9
80	999.8	1027.3	1057.8
90	993.6	1021.9	1052.8
100	986.7	1016.2	1046.3

Table 12. Density of cellulose suspensions

Temperature(°C)	Density (kg/m ³)		
	10% solids	20% solids	30% solids
10	1021.4	1047.9	1074.2
20	1020.2	1045.8	1073.1
30	1018.3	1044.1	1070.3
40	1015.8	1041.8	1067.8
50	1012.2	1038.9	1063.9
60	1008.2	1034.8	1059.9
70	1003.8	1029.2	1056.3
80	998.3	1023.3	1050.2
90	991.7	1018.9	1044.2
100	984.7	1010.3	1037.3

Table 13. Density of pectin suspensions

Temperature(°C)	Density (kg/m ³)		
	10% solids	20% solids	30% solids
10	1020.6	1045.1	1071.3
20	1019.2	1043.3	1069.5
30	1017.3	1041.8	1067.3
40	1014.6	1039.1	1066.3
50	1011.5	1036.4	1061.9
60	1007.3	1033.3	1057.3
70	1002.5	1027.3	1054.3
80	997.4	1022.1	1047.5
90	990.7	1016.8	1042.9
100	984.2	1008.6	1035.2

은 식품의 주요 순수성분의 밀도예측 모델식은 Table 14에 나타난 바와 같다. 그런데 일반적으로 식품의 조성은 다음과 같은 water, protein, fat, carbohydrate, fiber, ash 등의 6가지 성분으로 나타내는 경우가 많이 있다. 이와같은 경우의 밀도예측 모델식 이용을 위하여 앞에서 얻은 데이터들 각 주요성분 group 별로 OPT subroutine을 사용하여 group model식으로 발전시킨 것이 Table 15에 나타난 것이다. 이 경우의 오차는 Table 14에서보다는 다소 크지만 식품의 주요 6가지 성분의 조성으로부터 밀도를 예측시 사용할 수 있는 모델식이다.

Table 14. Density models of pure components of foods

Pure components	Density models	Standard error	Standard % error (%)
Albumin	$\rho = 1.2795 \times 10^3 - 5.2551 \times 10^{-1} T$	4.0593	.32
Casein	$\rho = 1.3889 \times 10^3 - 4.9763 \times 10^{-1} T$	2.4641	.18
Whey protein	$\rho = 1.3397 \times 10^3 - 5.5918 \times 10^{-1} T$	3.1630	.24
Gluten	$\rho = 1.2946 \times 10^3 - 4.5829 \times 10^{-1} T$	13.9105	1.10
Milkfat	$\rho = 9.1989 \times 10^2 - 4.2054 \times 10^{-1} T$	1.0216	.11
Vegetable oil	$\rho = 9.2859 \times 10^2 - 4.1089 \times 10^{-1} T$	1.0182	.11
Lard	$\rho = 9.2427 \times 10^2 - 4.1896 \times 10^{-1} T$	1.1819	.13
Corn oil	$\rho = 9.2862 \times 10^2 - 4.1214 \times 10^{-1} T$	1.0904	.12
Dextrose	$\rho = 1.6834 \times 10^3 - 3.3501 \times 10^{-1} T$	2.9494	.18
Lactose	$\rho = 1.6826 \times 10^3 - 3.2495 \times 10^{-1} T$	4.2424	.25
Sugar	$\rho = 1.6829 \times 10^3 - 3.3557 \times 10^{-1} T$	2.0264	.12
Starch	$\rho = 1.3501 \times 10^3 - 3.0304 \times 10^{-1} T$	3.7448	.28
Cellulose	$\rho = 1.3192 \times 10^3 - 3.7607 \times 10^{-1} T$	4.1978	.32
Pectin	$\rho = 1.3039 \times 10^3 - 3.5629 \times 10^{-1} T$	4.2431	.33
Milk salt	$\rho = 2.4238 \times 10^3 - 2.8063 \times 10^{-1} T$	2.2315	.09

Table 15. Group models of major components of foods

Major component	Group models	Standard error	Standard % error (%)
Protein	$\rho = 1.3299 \times 10^3 - 5.1840 \times 10^{-1} T$	39.9501	3.07
Pat	$\rho = 9.2559 \times 10^2 - 4.1757 \times 10^{-1} T$	4.2554	.47
Fiber	$\rho = 1.5991 \times 10^3 - 3.1046 \times 10^{-1} T$	93.1249	5.98
Carbohydrate	$\rho = 1.3115 \times 10^3 - 3.6589 \times 10^{-1} T$	8.2687	.64
Ash	$\rho = 2.4238 \times 10^3 - 2.8063 \times 10^{-1} T$	2.2315	.09

문헌값과 모델값의 비교

본 연구과제에서 얻은 밀도 예측 모델의 타당성을 검토하기 위하여 문헌(3,5,6,8-12)에 보고된 모든 액체 식품의 밀

도 데이터와 본 연구에서 행한 그 액체 식품의 조성 및 온도로부터 얻어지는 예측 모델에서 계산된 값과를 비교하였더니 그 오차가 Table 16에서 보는 바와같이 평균 2%

이내에 있음을 알게 되었다.

Table 16. Comparison between model and literature values of densities for liquid foods

No. of data	Standard error	Standard % error(%)
165	20.1924	1.98(.18-6.59)

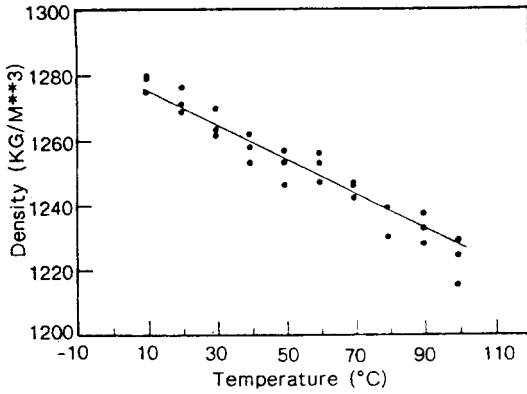


Fig. 1. Density of albumin solids.

과 실험을 통하여 얻은 실험값과의 비교를 하기 위하여 dairy product 중에서 evaporated milk 와 juice product 중에서 concentrated orange juice 를 택하여 측정 비교하였다. 준비된 이 시료들의 조성은 Table 17 에서 보는 바와 같았다.

이들 시료의 실험값과 모델값은 Fig. 2에서 보는 바와 같고 이때 standard % error 는 Table 18에서 보는 바와 같이 1.45% 이내였다.

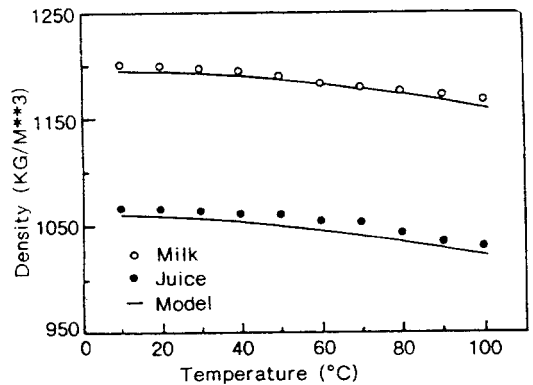


Fig. 2. Density of food product samples.

실험값과 모델값의 비교

본 연구과제에서 얻은 밀도 예측 모델을 이용한 모델값

Table 17. Compositions of major components for the food products used in this study

Food products	Water %	Protein %	Fat %	Carbohydrate %	Fiber %	Ash %
Evaporated milk	69.86	8.0	10.0	12.0	0	.14
Concentrated Orange juice	58.2	2.3	.2	37.8	.2	1.3

Table 18. Compositions between model and experimental values of densities for liquid foods

Foods	Standard error	Standard % error(%)
Evaporated milk	15.1727	1.45
Concentrated orange juice	9.3739	0.80

요 약

액체 식품의 밀도를 예측할 수 있는 모델을 온도와 그

식품의 주요성분의 조성의 함수로 발전시키기 위하여 액체식품의 주요성분을 다음과 같이 water, protein, fat, carbohydrate, fiber, ash 등 6가지 성분으로 분류하였고, 다시 세분하여 16가지의 주요성분을 분리 준비하여 그중 분말로 준비된 시료는 증류수를 사용하여 3 종류의 서로 다른 농도의 현탁액을 만들어서 volumetric pycnometer 를 사용하여 0°C에서 100°C의 온도범위에서 밀도를 측정하였다. 측정된 값으로부터 주어진 온도에서 각 순수성분의 밀도를 계산하였으며 이때 순수한 성분의 밀도는 온도의 증가에 따라 1차 함수의 관계로 감소

한다는 사실을 알게 되었다. 계산된 밀도값으로부터 0°C에서 100°C의 온도범위에서 각 순수성분의 밀도 예측 모델의 계수를 OPT subroutine을 사용하여 결정하였다. 그리하여 Table 14 혹은 Table 15에 나타난 식을 활용하여 주어진 온도와 조성에서 액체식품의 밀도를 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 말

본 연구는 한국과학 재단의 1986년도 전반기 연구지원에 의하여 수행된 것이다. 연구비를 지원하여 준 한국과학 재단에 깊은 사의를 표하는 바이다.

문 헌

- Riedel, L. : Thermal conductivity measurement on sugar solutions, fruit juices and milk. *Chemic-Ingenieur-Technik.*, 21(17), 340(1949)
- Short, A.L. : The temperature coefficient of expansion of raw milk. *J. Dairy Res.*, 22, 69(1955)
- Watson, P.D. and Tittsler, R.P. : The density of milk at low temperatures. *J. Dairy Sci.*, 44, 416(1961)
- Munro, R.A. : The densities of casein curd particles and caseinate solutions. *New Zealand J. of Dairy Sci. and Tech.*, 15(3), 225(1980)
- Kubota, K.T., Matusmoto, S., Kurisu, K. and Hosaka, H. : The equations regarding temperature and concentration of the density and viscosity of sugar, salt and skim milk solutions. *J. Fac. Appl. Biol. Sci. Hiroshima Univ.*, 19, 133(1980)
- Choi, Y. and Okos, M.R. : The thermal properties of tomato juice concentrates. *Trans. of ASAE*, 26(1), 305(1983)
- 최용희 : 온도와 조성이 식품성분의 열 전도도와 열 확산도에 미치는 영향, 한국식품과학회지, 18(5), 357(1986)
- Roy, N.K. : Density of casein from buffalo milk. *Michwissenschaft*, 23(12), 741(1968)
- Tressler, D.K., Van Arsdell, W.B. and Copley, M.J. : *The Freezing Preservation of Foods*, The AVI Publishing Co., INC., Westport(1968)
- Roy, N.K. : Density of buffalo milk fat. *Milchwissenschaft*, 26(12), 735(1971)
- Buma, T.J. : Viscosity and density fo concentrated lactose solutions and of concentrated cheese whey. *Neth. Milk Dairy J.*, 34, 65(1980)
- Mohsenin, N.N. : *Thermal Properties of Foods and Agricultural Materials*, Gordon and Breach Sci. Publishers, INC., New York, p.407(1980)

(1987년 7월 20일 접수)