

## 과일주스의 농축공정에 영향을 미치는 인자의 물리적 특성

은덕우 · 최용희  
경북대학교 식품공학과

### Physical Properties of the Factors Affecting the Evaporation Process of Fruit Juices

Duc-Woo Eun and Yong-Hee Choi

Department of Food Engineering, Kyungpook National University

#### Abstract

The physical properties which must be considered as engineering factors affecting on the evaporation process of fruit juices are boiling point rise, density, viscosity, thermal conductivity and specific heat. These factors are varied with food ingredients, soluble solids, pressure and temperature. In the reserch, it has been worked to obtain the data and to develop prediction model for the boiling point rise as a faction of soluble solid and pressure by the regression of SPSS package program. For the prediction model of density, it was developed as a fuction of soluble solid content on apple and pear juices. For the viscosity model, it was established by the factors of temperature and content of soluble solid through the optimization program.

Key words: physical properties, evaporation, boiling point rise, fruit jucies

#### 서 론

국내에서 과실을 가공하여 음료 상품으로 만든 역사는 60년대 후반기이며 70, 80년대 들어서면서 과일음료에 대한 소비가 증가함에 따라 과실가공 및 농축주스 사업의 중요성이 크게 대두되었다<sup>1)</sup>. 박<sup>2,3)</sup> 등의 보고에 따르면 국내 식품 기계업체의 경우 소규모로 영세성을 면치 못하여 전문성 및 그 질이 낮은 것으로 나타났고 전체 산업에 비해 식품산업에서 많은 양의 에너지를 소비하고 있는 것으로 나타났다<sup>4)</sup>. 또한 유<sup>5)</sup> 등의 에너지 소비 실태조사에 의하면 식품산업에서 많은 양의 에너지 소비가 나타나는 것으로 보고된 바 있다. 따라서 식품공업에 있어서 단위공정에 관한 연구는 식품의 질을 향상시킬 뿐 아니라 생산비를 절감할 수 있는 중요한 분야라 할 수 있다. 또한 양질의 제품을 얻기 위해서 살균 및 농축공정은 엄격한 표준 및 최적의 공정 설계하에서 이루어져야 한다. 농축공정의 최적화를 위해 과일주스의 중요한 물리적 인자인 비점상승, 점도, 밀도, 비열, 열전도도 등의 연구는 물론 농축공정의 모델링 및 설비 등에 대한 최적화가 이루어져야 한다. 한편 설탕용액 및 과일주스의 농축과정에 영향을 미치는 공학적 인자에 관한

연구는 Honig<sup>6)</sup>, Desrosier<sup>7)</sup> 등 많은 연구가 국외에서 이루어지고 있으나 국내에선 거의 찾아볼 수 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 배 및 사과주스의 농축공정에 영향을 미치는 물리적 인자에 관해 조사하였고 수용성 고형분 함량과 압력의 변화에 따른 비점상승을 측정하였으며 이에 대한 수학적 예측 모델식을 수립하였다. 또한 이들 과일주스의 밀도 및 점도에 관해 농도 또는 온도 및 온도의 함수로서 예측 모델식을 수립하였다.

#### 재료 및 방법

##### 재료

사과는 경북 군위군 소보면 위성동에서 수확한 국광을 채집하였고 배는 상주에서 구입한 신고를 시료로 하여 주스 믹서기로 착즙한 다음 과립 및 현탁물질을 제거하기 위해 여과시킨 후 원심분리기로 1500~2000 rpm에서 원심분리하여 Buchner 깔대기로 감압상태에서 여과지 Toyo No.2에서 걸러 현탁 입자를 제거하여 수용성 저분자 물질만 남게 했다. 사과 및 배주스 등의 농축액에 대한 농도는 Abbe 굴절계를 사용하여 °Brix로 가용성 고형분 함량을 표기했다. 각각의 주스들은 요구되는 농도로 만들어 주기 위해 실험실용 rotary vacuum evaporater를 사용하여 50~60°C로 온도를 제어하여 배주스는 10.5~69°Brix까지 사과주스는 44.3~66.1°Brix까지 농축하여 시료를 만들었다.

Corresponding author: Yong-Hee Choi, Department of Food Engineering, College of Agriculture, Kyungpook National University, Sankyuk-dong 1370, Pook-Gu, Taegu 702-701, Korea

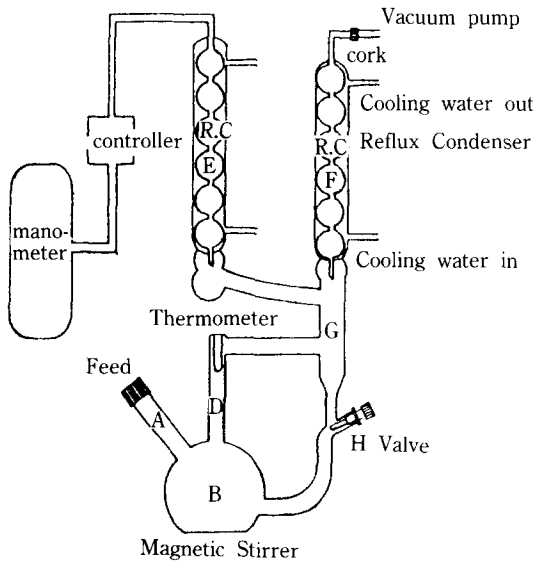


Fig. 1. Schematic diagram of experimental boiling point apparatus

#### 비점 측정장치

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 동적 비점 측정장치를 수정하여 만든 Spinosi<sup>(6)</sup> 등이 이용한 측정장치를 이용하였다. 위의 장치는 실험실에서 제작하였으며 재질은 pyrex를 사용하였다. 또한 갑작스런 열팽창을 방지하기 위해 carborundom boiling chip을 사용하였으며 냉각기를 2개 부착하여 냉각효율을 높였다. 또한 진공 마노미터 부분에 압력을 조절할 수 있는 장치를 부착하여 요구하는 압력 범위에서 비점을 측정할 수 있게 조절하였으며 또한 빠른 농도의 평형을 이룰 수 있도록 재순환의 길이를 짧게하였다. 농도를 일정하게 만들어 주기 위하여 자력 교반기를 사용하였으며 온도계는 differential temperature meter로 유효숫자를 소숫점 이하 2자리까지 측정 가능한 것을 사용하였다.

#### 비점 측정방법

Fig. 1에서 보는 바와 같이 각 시료와 비드를 투입구 (A)를 통해 주입한 후 모든 장치의 연결을 확인하고 원하는 압력(10~76 mmHg)까지 단계별로 조절장치를 이용하여 압력을 제어하며 측정하였다. 장치의 사용방법은 고내의 압력을 10 cmHg로 만든 후 히터로 가열하면 원하는 압력에서 서서히 끓기 시작하여 기·액 혼합물이 D부분에서 분리되어 액체는 다시 B부분으로 떨어지고 기체만 상승하여 E, F부분의 냉각기에서 응축이 일어나 다시 G부분으로 떨어진다. H-valve는 재순환 속도를 조절하여 용액의 농도를 항상 일정하게 유지시켜 준다. 각 압력에서의 비점을 측정후 실내온도에서 충분히 냉각하여 초기 시료의 농도와와의 차이를 Abbe 굴절계를

통해 점검한 결과 일정한 것으로 나타났다.

#### 밀도 측정

일반적으로 과일즙스의 밀도를 측정하는 피크노메터를 사용하여 용액의 온도를 20°C에서 사과즙스는 14.5~67.5 °Brix에서 배즙스는 10.5~69°Brix에서 각각 반복 측정하였다.

#### 점도 측정

오스왈드 점도계를 이용하여 증류수와의 비점도를 구하였다. 시료의 온도를 differential temperature meter로 맞추어 ±0.1°C내로 조절하였다. 각 온도구간에서 5회 측정하여 결과를 얻었다.

## 결과 및 고찰

#### 비점 상승도

Fig. 1의 실험장치를 이용하여 사과 및 배즙스 등의 농축즙스에 대한 비점에 관해 농도 및 압력을 달리하며 실험한 결과를 분석하였다. 일반적으로 비점에 관여하는 요소로는 압력과 용액의 몰랄농도이며 Antonie, Clausius-clapeyron 식에서 증기압과 비점과의 관계는 다음 식과 같이 표현된다.

$$\ln p = A - (B/T) \quad (1)$$

여기서, p는 증기압(cmHg), T는 비점(C), A와 B는 상수이다.

실험데이터를 식 (1)을 이용하여 회귀분석시켜 각 농도에서 A, B값을 구한 후 물의 비점과의 관계에서 비점 상승도를 구하였다.

$$\Delta T_r = T_s - T_w = B/(A - \ln p) - B/(A' - \ln p) \quad (2)$$

여기서, T<sub>r</sub>는 비점상승, T<sub>s</sub>는 용액의 비점, A, B, A', B'는 상수, T<sub>w</sub>는 물의 비점, p는 증기압(cmHg)이다.

사과 및 배즙스에 대한 압력 및 농도의 변화에 따른 비점 상승도 값은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

#### 농도의 영향

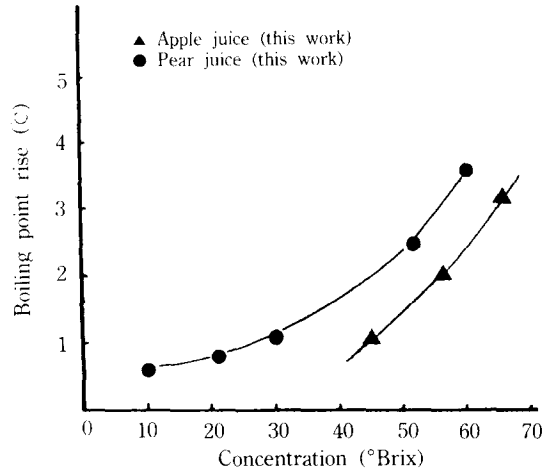
Fig. 2에서 보는 바와 같이 100 mmHg 압력하에서 농도의 증가에 따른 비점상승의 증가는 exponential 함수 관계로 크게 증가함을 알 수 있었다.

#### 압력의 영향

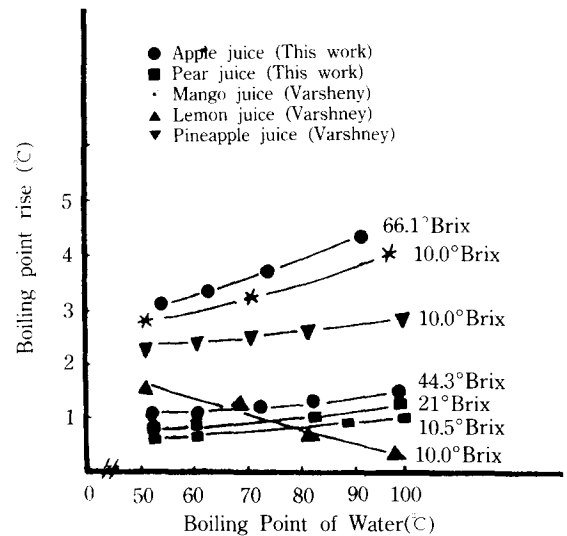
Fig. 3은 일정 온도하에서 압력의 변화에 따른 비점상승도를 보여주는 그림으로서 본 실험에서 측정된 사과 및 배즙스와 Varshney<sup>(6)</sup> 등이 실험하여 발표한 망고, 레몬 및 파인애플 즙스 등에 관한 물의 비점과 각 즙스의 비점 상승도와와의 관계를 보여주는 것으로서 일반적으로 압력이 증가함에 따라 다소 증가하거나 거의 변화가 없는

**Table 1. The experiment values of boiling point rise(B.P.R.) on apple and pear juices at different concentrations and pressures**

Apple juice			Pear juice		
Press (cmHg)	Concentration (wt%)	B.P.R. (C)	Press (cmHg)	Concentration (wt%)	B.P.R. (C)
10	44.3	1.05	10	10.5	0.67
	66.1	3.11		21.0	0.80
				30.0	1.00
14.8	44.3	1.10	14.8	52.0	2.24
	66.1	3.35		10.5	0.72
				21.0	0.85
25	44.3	1.18	25	30.0	1.11
	66.1	3.70		52.0	2.21
				10.5	0.79
30	44.3	1.21	30	21.0	0.91
	66.1	3.83		30.0	1.14
				52.0	2.17
40	44.3	1.26	40	10.5	0.82
	66.1	4.05		21.0	0.94
				30.0	1.15
50	44.3	1.30	50	52.0	2.15
	66.1	4.23		10.5	0.86
				21.0	0.98
60	44.3	1.33	60	30.0	1.16
	66.1	4.38		52.0	2.12
				10.5	0.90
70	44.3	1.36	70	21.0	1.02
	66.1	4.52		30.0	1.17
				52.0	2.09
76	44.3	1.38	76	10.5	0.93
	66.1	4.59		21.0	1.05
				30.0	1.18
			52.0	2.07	
			10.5	0.96	
			21.0	1.07	
			30.0	1.19	
			52.0	2.05	
			10.5	0.97	
			21.0	1.09	
			30.0	1.19	
			52.0	2.03	



**Fig. 2. Effect of concentration on experimental boiling point rises of apple and pear juices at 100 mmHg**



**Fig. 3. Effect of pressure on boiling point rises for various fruit juices**

것을 알 수 있었다.

**비점 상승도 예측모델**

과일주스의 비점 상승도는 앞에서 보는 바와 같이 용액의 농도에 크게 영향을 받으나 압력의 변화에는 다소 미소하게 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 따라서 과일 주스의 비점 상승도는 식 (3)과 같이 압력과 농도의 함수관계로 표현하여 회귀분석시킨 결과 각 계수들의 값과 R<sup>2</sup> 및 standard error 값은 Table 2에 나타낸 바와 같았다.

$$\Delta T_r = p^a \cdot \exp(\beta W + W) \cdot W^r \quad (3)$$

또한 좀 더 오차가 적은 예측 모델식을 시도한 결과 다음과 같이 조금 변형된 식 (4)를 수립하여 회귀분석시킨 결과를 Table 3에 나타낸 바와 같았다.

$$\Delta T_r = (P+W)^a \cdot \exp(\beta W + \delta) \cdot W^r \quad (4)$$

Table 2, 3에서 나타낸 바와 같이 배, 망고 및 레몬 주스의 경우 비점상승도 예측 모델 식 (4)를 적용하였을 때 R<sup>2</sup>값이 0.97 이상으로 standard error가 0.093 이하로 모델식 (3)보다 더 적합한 모델식임을 알 수 있었다. 그러나 파인애플 주스의 경우는 예측 모델식 (3)이 R<sup>2</sup> 값이 0.9763, standard error가 0.087로 모델식 (4)보다 더 적합함을 알 수 있었다.

**Table 2. Coefficient values in the model equation (3) for pear, mango, pineapple and lemon juices**

Juice	Coefficient values				R <sup>2</sup>	standard error
	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$\delta$		
pear	0.0827	0.0367	-0.3751	0.0317	0.9718	0.0648
mango	0.1642	0.0289	0.2775	-0.2131	0.9079	0.1616
pineapple	0.1226	0.0089	0.8194	-2.1490	0.9763	0.0876
lemon	-0.1436	-0.0141	1.5453	-2.2170	0.9600	0.1542

**Table 3. Coefficient values in the model equation (4) for pear, mango, pineapple and lemon juices**

Juice	Coefficient values				R <sup>2</sup>	standard error
	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$	$\delta$		
pear	0.1802	0.0352	-0.4100	-0.2708	0.9824	0.0512
mango	0.2038	0.0069	0.7849	-2.3970	0.9741	0.0917
pineapple	0.2776	0.0262	0.2304	-0.5614	0.9049	0.1642
lemon	-0.8215	-0.0061	1.6850	-1.0103	0.9854	0.0933

**Table 4. Coefficient values in the proposed model for the density of apple and pear juices**

Juices	Coefficient values			R <sup>2</sup>	Standard error
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>		
Apple	1.0026	3.4550E-5	2.2276E-5	0.9999	6.005E-4
Pear	0.9997	3.4001E-3	2.3769E-5	0.9995	5.529E-3

**Table 5. Coefficient values in the proposed for the viscosity of apple and pear juices**

Juices	Coefficient values			R <sup>2</sup>	Standard error
	A	B	N		
Apple	19.8585	-3.8920	1.4439	0.9994	0.0419
Pear	23.1967	-4.6581	1.5012	0.8936	0.2634

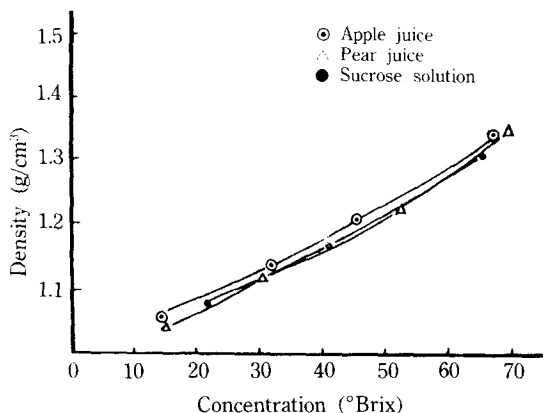
### 밀도

측정한 사과 및 배 주스의 밀도는 농도에 대하여 비선형적인 함수관계로 나타냈으며 농도에 대한 다음과 같은 2차 함수관계로 예측 모델식을 구립하였다.

$$\phi = b_0 + b_1W + b_2W^2 \quad (5)$$

여기서  $\phi$ 는 용액의 밀도,  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ 는 상수이다.

또한 AOAC<sup>(12)</sup> 문헌상에 보고된 설탕용액의 밀도와 본 실험에서의 20°C에서 측정된 21.6°Brix 및 65.2°Brix 등에서의 실험값과 비교해 본 결과 소수점 이하 두 자리까지 적합한 것으로 나타났다. 사과 및 배 주스의 밀도 예측 모델식은 위의 (5)식을 이용하여 회귀분석한 결과 Table 4에 나타난 바와 같이 standard error 값이 각각  $6.005 \times 10^{-4}$ ,  $5.529 \times 10^{-3}$ 으로서 아주 적은 오차한계를 나타내었다. 또한 Fig. 4에는 사과 및 배 주스와 설탕용액에 대하여 20°C에서 농도의 변화에 따른 밀도의 변화를

**Fig. 4. Density of concentrated apple juice, pear juice and sucrose solution at 20°C**

나타내었다.

### 점도

용액의 점도는 물분자와 용질 상호간의 결합력의 함수이며 수소분자의 힘과 분자 상호간의 공간에 영향을 받으므로 농도의 온도에 관한 함수관계를 나타낸다. 또한 설탕과 같은 용질은 용액에서 녹아 있을 때 설탕내 많은 수소기로 인해 점도가 증가하며 용액이 가열할 때 열적팽창으로 인해 분자 상호간의 거리는 증가한다. 따라서 온도의 영향은 Arrhenius의 식을 통해 설명될 수 있다.

$$\mu = \mu_0 \exp(Ea/RT) \quad (6)$$

또한 점도에 대한 농도의 효과는 Harper<sup>(13)</sup>가 토마토 주스의 농축액에 대한 모델식에서 다음과 같은 식을 적용하였다.

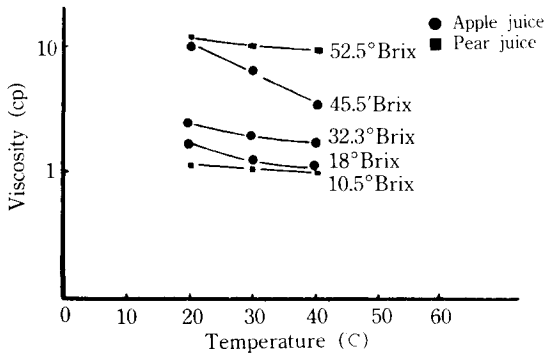


Fig. 5. Variation of viscosity of apple and pear juices with temperature

$$\mu = a \cdot W^n \tag{7}$$

위의 (6), (7)의 등식을 통해 모델식을 수립한 결과 아래와 같은 식을 도출할 수 있었으며 관련 상수에 대한 값은 Table 5에 나타내었다.

$$\mu = \text{Exp}(A/T - B) \cdot W^N \tag{8}$$

여기서 Ea는 Activation energy of flow(Kcal/gmole), R은 gas constant, T는 Temperature(C), W는 고형분의 % 농도, μ는 점도(cp), μ<sub>0</sub>, A, a, B, N, n은 관련 상수이다. 즉 사과주스의 경우 R<sup>2</sup>가 0.99이었으며 standard error가 0.04188이었고 배 주스의 경우 R<sup>2</sup>가 0.89이었으며 standard error가 0.26으로 나타났다.

Fig.5는 사과 및 배 주스의 점도에 대한 변화를 나타내었다.

### 요 약

과일주스의 농축과정 중 고려되어야 할 중요한 공학적 물성치로는 비점상승, 밀도, 점도 등이다. 이들 물성치는 식품성분에 따라 고유한 특성을 나타내며 고형분의 함량, 압력, 온도에 따라 변화한다. 따라서 본 논문에 있어서 비점상승에 영향을 미치는 고형분의 함량과 압력에 대한 비점상승을 측정하였고 이에 따른 예측 모델식을 수립하였다. 비점 상승도는 조작압력 및 고형분 함량을 독립변수로 하여 추정된 몇 가지 함수식으로부터 SPSS 통계 package 중 regression program을 이용하여 단순

회귀시켜 R<sup>2</sup>값이 가장 높은 모델식을 택하였다. 또한 밀도는 고형분 함량에 따라 점도는 온도와 고형분 함량에 따라 예측 모델식을 각각 수립하였다.

### 감사의 말

본 연구는 1990년도 문교부 지원 한국학술진흥재단의 지방대 육성 학술연구비에 의해서 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 문 헌

- 이민철 : 음료 산업, 식품과학과산업, 21, 93(1988)
- 박노현, 신휴년, 이동선, 신목걸 : 국내식품가공기계현황 조사, 농개공식품연구 사업보고, 10, 170(1983)
- 장규섭 : 식품공학, 한국식품연구문헌총람, 4, 357(1989)
- 유진영, 신동화, 김정옥, 민병용 : 국내통조림제품의 살균조건조사 및 Fo value의 비교연구. 농어촌개발공사 식품연구소 (1978)
- Honig, P.: *Principles of Sugar Technology*. Vol.1, Elsevier Publishing Co., Amsterdam (1953)
- Desrosier, N.W.: *The Technology of Food Preservation*. 3rd ed., AVI Publishing Co., Connecticut (1970)
- Varshney, N.N. and Barhate, V.D.: Effect of concentration and vacuum on boiling point of fruit juices. *J. Food Technol.*, 13, 225(1978)
- Moresei, M. and Spinosi, M.: Engineering factors in the production of concentration fruit juices. *J. Food Technol.*, 15, 265(1980)
- Moresei, M. and Spinosi, M.: Engineering factors in the production of concentration fruit juices. *J. Food Technol.*, 19, 519(1984)
- Crapiste, G.H. and Lozano, J.E.: Effect of concentration and pressure on the boiling point rise of apple juice and related sugar solution. *J. Food Sci.*, 53, 865 (1988)
- Constenla, D.T., Lozano, J.E. and Crapiste, G.H.: Thermophysical properties of clarified apple juices as a function of concentration and temperature. *J. Food Sci.*, 54, 663(1989)
- A.O.A.C.: *Official Method of Analysis*. 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C., p.1260(1990)
- Haper, J.C. and El-shrighi, A.F.: Viscometric behavior of tomato concentration. *J. Food Sci.*, 30, 470(1965)

(1991년 8월 5일 접수)