

糖溶液의 流動學的 性質에 關한 研究

柳 鳳 信

淑明女子大學校 藥學大學

Study on the Rheological Properties of Saccharide Solutions

Bong Shin Yu

(Received August 13, 1975)

The rheological properties of seven mixed sugar solutions of glucose, fructose, maltose, sucrose, and two kinds of honey, the chestnut and the acacia, were discussed.

The fluidity of the above samples were studied by using the applied pressure horizontal viscometer with which glycerine was confirmed to be a Newtonian flow at 25°C.

Time required to pass the constant volume of the sample fluids through the capillary was measured at various pressure differences, Δp , and the Δp vs $\Delta p \cdot t$ in the Poiseuille equation was plotted. Shear rate against shearing stress, on the other hand, was plotted for the sample fluids and it was found that all the sample fluids have shown a Newtonian behavior.

It was interesting to note that the shear viscosity increased as the concentration of sugar solutions increased, and as the concentration of sucrose became higher than that of maltose, although the total concentration of sugar solution is constant.

緒 論

벌꿀은 嗜好品으로는 물론 에너지源, 貧血病, 壞血病, 強壯劑, 睡眠劑, 血壓降下劑 등의 醫藥用으로 쓰일뿐더러 防腐性을 가지고 있어 外部傷處에 쓰이기도 하며 또 製劑에서 丸劑의 結合劑로도 널리 쓰여지고 있다.

벌꿀의 組成은 glucose와 fructose(각각30~40%)를 合한 單糖類 70% 내외로 되어있으

* Dept. of Pharmacy, Sookmyung Women's University

며¹⁾, 그 밖에 水分 20% 내외의 maltose(含有된 多糖類中的 약 30%)를 위시하여 kojibiose, tranose, isomaltose, sucrose, nigerose 및 gentiobiose等 여러種類의 二糖類와 raffinose 등의 寡糖類(二糖類를 含한 약 20여종의 oligosaccharides는 꿀 전체의 35%)로 이루어져 있다²⁾.

또한 벌꿀은 微量成分으로서 proline(amino酸中 55~77%)을 주로하여 lysine, aspartic acid, glutamic acid, alanine, arginine, glycine, histidine 및 methionine等 約 15種의 amino酸(꿀 전체의 0.1% 내외)을 포함하며³⁾, glucose oxidase의 作用에 依하여 生成된 gluconic acid(含有된 有機酸의 약 70%)를 주로하고 formic acid, L-keto glutaric acid, citric acid, malonic acid, tartaric acid 및 succinic acid等 約 10여종의 有機酸으로 되어있다⁴⁾.

無機成分은 벌꿀全體의 0.1~0.35% 정도이며 K, Na, Ca, P, Cl, S, Zn, Mg, Fe, Mn, Cu 및 Si등으로 構成되어 있다⁵⁾.

이들 以外的 成分으로는 invertase, amylase等の 酵素, glucose가 酵素酸化하여 생긴 細菌發育阻止劑인 H₂O₂, 揮發成分(estrogen), glucose나 fructose의 分解變化 過程에서 생기는 着色中間物인 hydroxymethyl furfural等이 있다.

꿀의 어두운 色은 糖과 amino酸 사이의 縮合에 依하여서이거나 또는 Mg, Fe, Mn, Cu의 無機成分에 起因한다고 한다^{6), 7)}.

Zn成分이 많고 Mg, Fe, Mn, Cu成分이 적으면 그 色은 比較的 얇다.

벌꿀 속의 糖分 有機酸 및 amino酸은 paper chromatography, column chromatography, ion-exchange chromatography, gas chromatography, thin-layer chromatography, colorimetry等에 依하여 分析定量되고 있다.

특히 單糖類를 trimethylsilyl 誘導體로 하여 gas chromatography를 使用한 定量分析法이 Masada⁸⁾에 의하여 報告되고 있으며 White⁹⁾는 charcoal celite 混合物의 column chromatography法에 依하여 꿀의 糖分을 分析하였으며, Malyoth¹⁰⁾는 paper chromatography法에 依하여 糖分을 測定하였다.

벌꿀의 主成分인 glucose와 fructose의 檢定은 꿀의 品質의 判定 및 不良品 識別에 對한 重要한 要素라고도 하나, 벌꿀의 流動學的 性質에 關한 體系화된 報文은 드물다.

本實驗은 벌꿀의 主成分인 glucose, fructose, maltose 및 sucrose의 여러濃度의 混合糖溶液에 對한 粘性度를 水平型粘性度計를 使用함으로써 그의 流動學的 性質의 一斷을 檢討하는데 그 目的이 있다.

實 驗

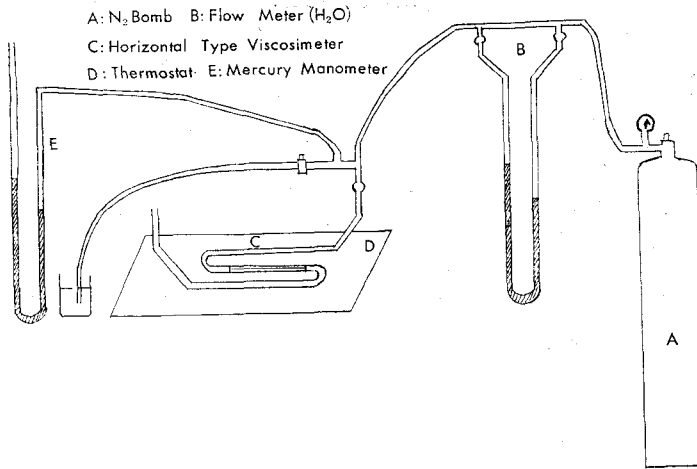
試 料

基準物質: Glycerin (Merck製品) Fructose, Glucose, Sucrose 및 Maltose는 Merck製品이며 實驗 1-C-2에 따라 調製하였다.

潤活油(SAE # 30, 國產品)

아카시아꿀 및 밤꿀(國內生産品)

器具 및 機器— Abbe屈折計, Cannon-Fenoke 粘性度計(No. 200), Thermostat (Yamato scientific, Co製 precision unitherm bath Type BH-2) Tsuda式 水平粘性度計(試料溶液에 一定 壓力差 ΔP 를 加하여 一定 부피가 흐르는데 要하는 時間을 測定한다. 裝置의 大要는 diagram과 같다.



Schematic diagram of apparatus for horizontal type viscosimeter.

水分의 定量—Abbe屈折計를 使用하여 20°C에서 各試料溶液이 屈折率을 測定하고 Wedmore表에 依하여 水分의 量을 測定하였다.

水平粘性度計에 對한 操作—試料溶液은 다음의 10種으로 하였다.

Sample A	glycerine(Stand ma rerml)									
B	G	30%	F	30%	M	15%	S	0%	W	25%
C	G	30%	F	30%	M	10%	S	5%	W	25%
D	G	30%	F	30%	M	5%	S	10%	W	25%
E	G	30%	F	30%	M	0%	S	15%	W	25%
F	G	30%	F	30%	M	0%	S	0%	W	40%
G	G	37.5%	F	37.5%	M	0%	S	0%	W	25%
H	G	35%	F	35%	M	6%	S	1.0%	W	23%
I	Acacia Honey									
J	Chestnut Honey									

Key : G ; Glucose F ; fructose M ; malfose S ; Sucrse W ; water

모든 경우 一定부피의 試料溶液 8ml를 水平粘性度計에 넣은 다음 恒温器속에서 $25.0^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 로 유지시키면서 窒素볼베로 부터 流速計를 거쳐 窒素가스로 粘性度計속의 試料를 加壓하고 이 경우 콕크와 流速計를 調節함으로써 水銀壓力計에 나타나는 壓力差 ΔP 가 1.32×10^{-2} , 2.63×10^{-2} , 3.95×10^{-2} , 5.26×10^{-2} , 6.58×10^{-2} , 7.89×10^{-2} 및 9.21×10^{-2} atm이 되게 하였다.

試料溶液의 粘度를 測定— 25°C 一定溫度에서 Cannon-Fenoke 粘性度計를 使用하여 各 試料溶液의 絕對粘性度를 測定하였다. 이 때 基準物質로는 潤活油 SAE(#30)를 使用하였다.

結果 및 考察

水分의 定量—여러가지 混合試料溶液(B~H)와 별꿀(I 및 J)에 대한 屈折率을 測定하고 Wedmore表를 利用하여 試料溶液속에 포함된 水分의 含有量을 各 屈折率의 測定值로부터 求해낸 値는 Table I과 같다.

Table I. Water Contents in Sample Solutions at 25°C (%)

Sample	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Water contents (observed)	25.0	25.1	25.1	24.9	41.3	25.5	22.9	26.5	23.8

Table I의 結果를 보면 試料溶液 속의 水分의 含有量은 共存하는 糖의 種類와 各 混成組成에 依한 影響을 받지않음을 알 수 있으며 結果의으로 別꿀 속의 水分의 含量을 上記實驗方法을 써서 定量할 수 있다고 推定할 수 있다. 아카시아 꿀(I) 및 밤꿀(J)에 對한 水分의 含量은 이러한 方法으로 求한 값들이다.

糖溶液에 對한 流動學的 考察— 水平粘性度計의 檢定¹¹⁾—基準物質로서 glycerine을 使用하였을 때 毛細管에 걸어진 여러가지 壓力差 ΔP 를 의條件下에서 一定量의 glycerine이 그毛細管을 通過한 各時間이 t인 경우 poiseuille式 $\eta = K \cdot \Delta p \cdot t$ (1)을 만족시키도록 ΔP 에 對한 $\Delta p \cdot t$ 의 plot가 一定하게 維持되었다. 이 경우 ΔP 의 값은 各各 1.32×10^{-2} , 2.63×10^{-2} , 3.95×10^{-2} , 3.95×10^{-2} , 5.26×10^{-2} 및 6.58×10^{-2} atm이 있으며 이들 條件下에서 얻은 $\Delta p \cdot t$ 의 값은 回歸直線의 有意性에 關한 檢定結果 一定하지 않다고 볼 수는 없으므로 이 水平粘性度計는 여러가지 試料溶液에 對하여 適用 할 수 있다.

糖溶液의 ΔP 에 對한 $\Delta p \cdot t$ 의 plot—10種의 試料溶液에 對하여 水平粘性度計를 使用하여 얻은 結果를 Fig. 1(a) 및 (b)에 表示하였다.

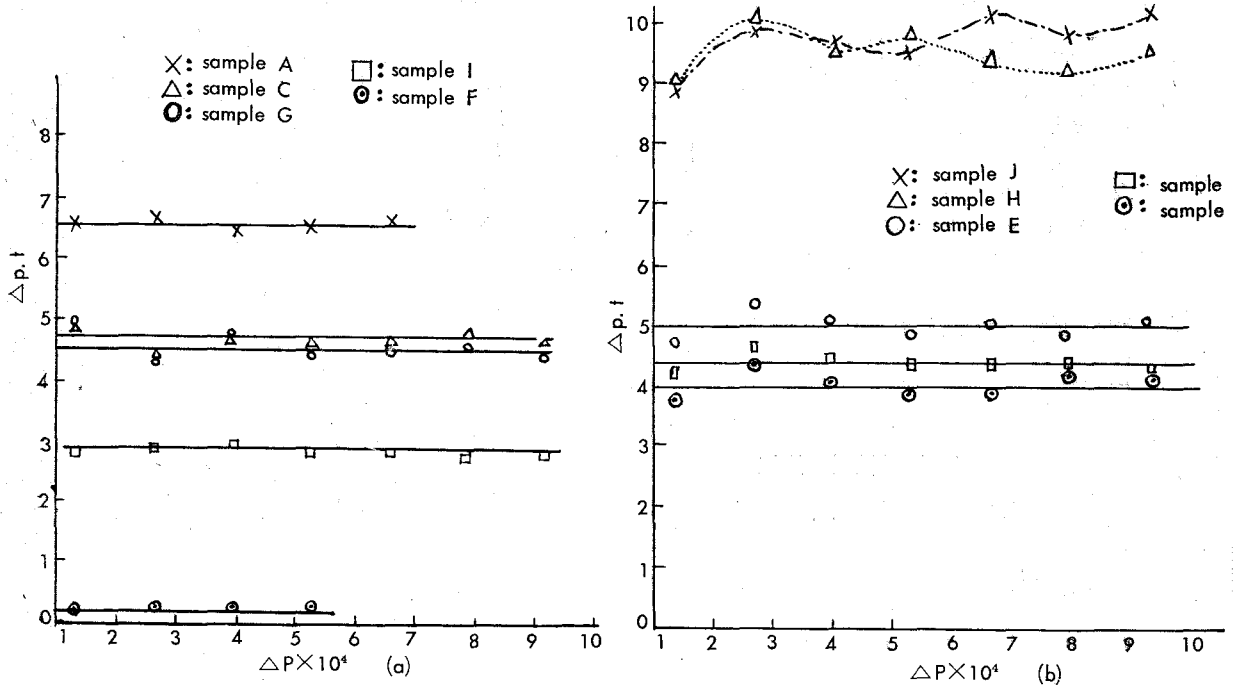


Fig. 1 Plots of Δp vs $\Delta p \cdot t$

이들 그림으로부터 특히 試料 J를 포함한 Fig. 1 (b)에 있어서 回歸直線의 有意성을 檢定한 結果 기울기 $\beta=0$ 의 假說을 否認할 수는 없다. 그러나 ΔP 에 對한 $\Delta p \cdot t$ 의 plot가 一定하다고 卽 Newtonian液體라고 보기에는 不充分하므로 rheology方程式을 使用하여 檢討할 必要가 있다.

Rheology方程式의 適用에 對한 檢討—液體가 毛細管 속을 흐를 때 毛細管에 들어있는 液體內部에 生기는 shearing stress P_t (dyne/cm²)는 毛細管의 長이가 l 인 경우 任意의 반지름 r 인 液體기둥 양단 卽 毛細管 兩斷이 받는 壓力差가 ΔP 이면 다음과 같은 式으로 나타낼 수 있다.

$$P_t = \frac{r \Delta P}{2l}$$

P_t 는 r 에 따라 變하여 毛細管 管壁에서 最大 값 P_s 로 되므로 毛細管의 반지름을 R 이라고 하면 다음과 같이 된다.

$$[P_t]_{r=R} = P_s = \frac{R \cdot \Delta P}{2l} \dots \dots \dots (2)$$

또 shear rate $\dot{\epsilon}$ 에 對한 式은 다음과 같다.

$$\dot{\epsilon} = \frac{P_s}{2\eta} \dots \dots \dots (3)$$

Fig. 2은 各試料溶液에 對한 P_s 對 $\dot{\epsilon}$ 의 plot이다. P_s 및 $\dot{\epsilon}$ 의 값들은 各試料溶液에 對한 ΔP 와 η 의 값으로부터 各々 求한 것이고 이 경우 各各의 η 의 값은 184.61 cps인 基準物質 SAE

(#30)의 粘性度를 利用한 값들이다.

Fig. 2을 보면 試料에 對한 plot가 原點에 到達하는 正確한 直線性을 나타내고 있으므로 이 結果는 (3)식에 부합된다. 이와같은 流動學的인 考察의 結果로부터 Poiseuille式 單으로서는 粘性흐름의 種類를 推定하기 困難한 試料溶液도 포함시켜 모든 試料溶液은 Newtonian 液體라고 判斷할 수 있다.

組成에 따르는 流動性的 比較一組成을 달리하는 各試料溶液의 種類와 그 流動性사이의 關係를 檢討하기 위하여 各試料溶液에 對한 shearing stress와 shear rate와의 比 即 shear viscosity를 Fig. 2의 기울기로부터 求하였으며 그 값들을 Table II에 나타내었다.

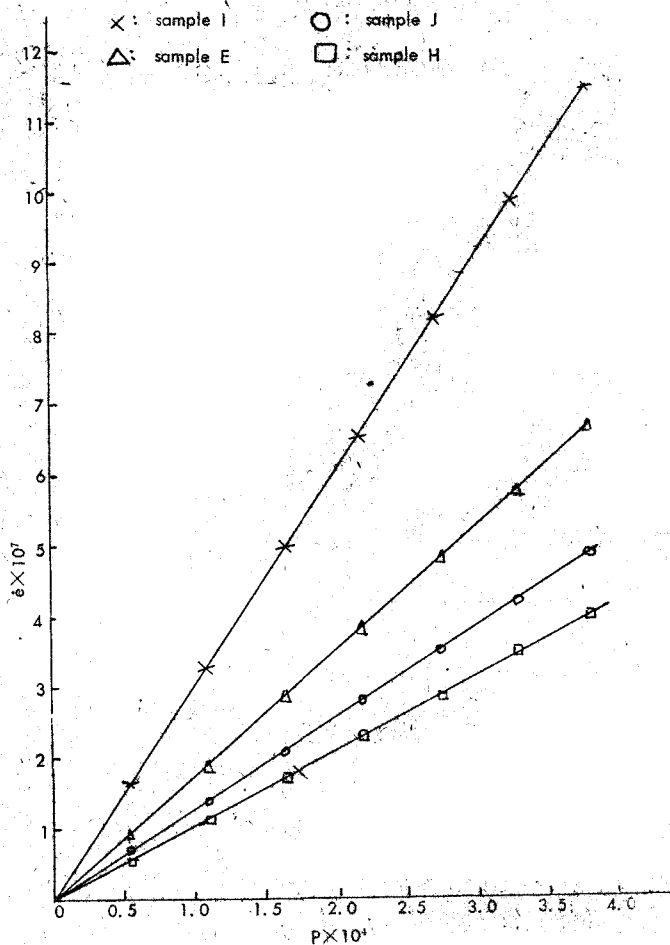


Fig. 2. Plots of P_s vs e

Table I. The Values of Fluidity of Various Samples.

Sample	Fluidity (cp^{-1})
H	1.11×10^{-3}
J	1.30×10^{-3}
A	1.56×10^{-3}
E	1.79×10^{-3}
D	1.89×10^{-3}
C	1.97×10^{-3}
B	2.13×10^{-3}
G	2.33×10^{-3}
I	3.03×10^{-3}
F	34.25×10^{-3}

一般的으로全體로서糖分の含量이 많은 것이流動성이 적다는 것을 Table II로부터 알 수 있다. 同濃度の 두가지單糖類 即 glucose와 fructose가 混合된 糖全體로서의 濃도가 75%인 試料溶液 G 그리고 糖全體로서의 濃도는 試料溶液 G와 같으나 濃도가 서로같은 두單糖類 以外에 濃度組成을 달리하는 二糖類가 함께 混合된 試料溶液 B, C, D 및 E를 하나의 무리로 묶어 shear viscosity를 比較할 때 糖분이 同一한 含量으로 포함되더라도 單糖類만이 섞여있을 때 보다 二糖類를 함께 포함할 때 그 流動성이 적다는 것을 알 수 있다 또 試料溶液 B, C, D 및 E 사이를 서로 比較할 때 單糖類로서의 含量이 同一한 경우 maltose와 sucrose를 混合한 二糖類 全體濃도가 꼭 같은 一定量일지라도 sucrose의 量이 maltose의 量보다 커짐에 따라 그 流動성은 거의 規則적으로 減少하고 있음을 알 수 있다.

結 論

以上 實驗結果 및 考察에 依하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 벌꿀 속의 水分含量을 Abbe屈折計를 使用하여 測定時 共存하는 糖의 種類와 混成組成에 依한 影響을 받지않는다.
2. 各濃度の 糖混合液과 벌꿀溶液은 Newtonian液體이다.
3. Shear viscosity에 있어서는 糖混合溶液의 濃도가 클수록 그 값이 크며 全體濃도가 同一한 濃度の 糖混合液에 있어서 一定한 單糖類濃도에 對하여 sucrose의 濃도가 maltose의 濃도보다 커짐에 따라 shear viscosity가 增加하였다.

文 獻

- 1) Masada, Yoshiro, Keiji Hashimoto, Takehisa Inoue, and Tokunosuke Sawada (1969), *Yakugaku Zasshi*, **89**: 734.
- 2) Siddigui, I.R. and B. Furgala, *Journal of Agricultural Research*, **6**, 139 (1967)
- 3) Aoyaji, Shigeo, *Tamagawa Daigaku Nogakubu Kenkyu Hokoku*, **7**, 181 (1968)
- 4) Echigo, T. and T. Takenaka, *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, **48**, 228 (1974)
- 5) Fini, Maria Angela, *Apicolt Ital.*, **33**, 231 (1967)
- 6) Ramsey, R. J. and V. G. Milum, *Am. Bee J.*, **73**, 305 (1933)
- 7) Schuette, H. A. and K. Remy, *J. Am. Chem. Soc.*, **54**, 2909 (1932)
- 8) Masada, Yoshiro, *Yakugaku Zasshi*, **89**, 735 (1969)
- 9) White, J. W., *Tech. Bull. U.S. Dep. Agric.*, No. 1261, 124 (1962)
- 10) Malyoth, E., *Naturwissenschaften*, **38**, 478 (1951)
- 11) Tsuda, S., *Kolloid Zasshi*, **45**, 325 (1928)