表面張力理論に基いて解明した衛生試験領域における二、三の現象

伊 木 誠 太 郎 (東鉄衛生試験室*)

Phenomena in Hygienic Field Researched by the Surface Tension Theory

Seitaro Iki (Japan National Railway, Health Laboratory*)

The surface tension theory was applied to the bubble occurred on an inner side of vessel when a carbonated drink was poured and to the pendent drop attached to the top of the glass tubing.

Further, the application of the theory to the inspection of the contamination of glassware and dropper was investigated. (Received June 2, 1964)

まえがき

ビールやサイダーなどの炭酸飲料をガラスコップに注いだとき、器壁に気泡が附着する現象は、表面張力理論から器壁の脂肪性汚染によるものと考えられる。また、消毒薬点滴コックがしばしば閉塞して点滴不能になる現象も、さきの表面張力理論から、ガラス管の型とこれに附着する懸垂滴との関係によるものと考えられる。

理 論 の 部

1. 気泡附着の理論

ガラスの壁に脂肪がついているとなぜ気泡が附着しやすくなるかを簡単にいえば、「水と油はなじみ難いが、水とガラスはなじみやすい。そこで前者には、空気や、炭酸ガスが入り込むスキがあるが、後者にはない」の一語につぎ。しかしこれを物理的に解明するには、つぎのようにそれぞれの場合の接触角の差異を基礎に、「ぬれ」という現象に基いて説明するのがよい。水がガラス脂肪、パラフィンと作る接触角は、ガラス<脂肪<パラフィンの順に大きくなり、同じ順に「ぬれ」にくくなる。

ガラスコップにビールやサイダーを注ぐ場合、炭酸ガスと水がもみくちゃになって器壁を上昇する。この際、ぬれ難い油の附着したガラス壁には、どうしても気泡が残る結果になる。

この理論を一步進め、気泡が壁に附着した場合の気泡の大きさの極大を計算してみると、Fig. 1 から、次のようになる。

Fig. 1 Across section of a bubble

$$\begin{aligned} \text{気泡表面積 } s &= 2\pi rh \\ &= 2\pi r^2 (1 + \cos \theta) \end{aligned}$$

$$\therefore \text{気泡体積 } v \geq \frac{2}{3}\pi r^3 (1 + \cos \theta)$$

これに、液体の比重度 p と、重力の加速度 g (ダイン) を乗じたものが浮力となるので

$$\text{浮力 } w_1 \geq \frac{2}{3}\pi r^3 (1 + \cos \theta) \cdot p \cdot g \text{ (ダイン)} \dots\dots(1)$$

また、

$$\text{気泡の底円周 } \ell = 2\pi r \cdot \sin \theta$$

これに、液体の表面張力 T (ダイン) $\times \sin \theta$ を乗じたものが、附着力となるので、

$$\text{附着力 } w_2 = 2\pi r \cdot \sin^2 \theta \cdot T \text{ (ダイン)} \dots\dots(2)$$

$w_1 \leq w_2$ の場合

$$\frac{2}{3}\pi r^3 (1 + \cos \theta) p \cdot g \leq 2\pi r \cdot \sin^2 \theta \cdot T$$

$$\therefore r^2 \cdot p \cdot g \leq 3(1 - \cos \theta) T$$

$$r \leq \sqrt{\frac{3(1 - \cos \theta) T}{p \cdot g}} \dots\dots(1)$$

(計算) ビールによって生じる気泡の大きさの計算

脂肪のついたガラスコップの場合

$$p \doteq 1, g \doteq 980 \text{ (ダイン)}, T \doteq 45 \text{ (ダイン)}, \theta \doteq 30^\circ$$

とすれば、(1) 式より $r \leq 0.14$, すなわち最大気泡の直径は 0.28 cm となる。

* 東京都北区田端町806; Tabata-machi, Kita-ku, Tokyo.

清浄なガラスコップの場合

$p \doteq 1$, $g \doteq 980$ (ダイン), $T \doteq 45$ (ダイン), $\theta \doteq 2^\circ$ とすれば,

(1) 式より $r \leq 0.009$, すなわち最大気泡の直径は, 0.018 cm となる。これは肉眼で事実上見えない大きさである。

上記の計算により, ガラス器に脂肪が附着している場合は, ビールによつて, 直径 0.28 cm までの気泡の附着が起るが, 清浄なガラス器に気泡の附着は起らないことが証明される。

また, アルコールを含まないサイダーのように $T \doteq 74$ (ダイン), $\theta \doteq 60^\circ$ (脂肪のとき) の場合には, 同様に計算して, $r \leq 0.33 \text{ cm}$ となる。すなわち最大気泡の直径は 0.66 cm となり, ビールの場合より, かなり大きなものとなる。

2. 懸垂滴上昇の理論

種々の直径のガラス管を使用して, この底部に懸垂滴を作り, 写真撮影した結果を基礎にして, 懸垂滴の型を幾何学的に図示すると, Fig. 2 のようになる。

Fig. 2 Geometrical Consideration about Pendant Drops.

これから懸垂滴の体積を計算してみると,

$$\text{懸垂滴体積 } v \doteq \frac{2}{3} \pi r^3 (1 + \cos \theta) + \pi x^2 r$$

これに, 液体の比重 p と, 重力の加速度 g (ダイン) を乗じたものが, 重力となるので,

$$\text{重力 } w_1 \doteq \{ \frac{2}{3} \pi r^3 (1 + \cos \theta) + \pi x^2 r \} p \cdot g \text{ (ダイン)}$$

また,

$$\text{懸垂滴の底円周 } \ell = 2 \pi x$$

これに, 液体の表面張力 T (ダイン) $\times \sin \theta$ を乗じたものが附着力となるので,

$$\text{附着力 } w_2 = 2 \pi x \cdot \sin \theta \cdot T$$

$$w_1 \leq w_2 \text{ の場合}$$

$$\{ \frac{2}{3} \pi r^3 (1 + \cos \theta) + \pi x^2 r \} p \cdot g \leq 2 \pi x \cdot \sin \theta \cdot T \dots (2)$$

上式において, $\theta = 90^\circ$ の特殊な場合を考えてみると,

$$\sin \theta = 1, \cos \theta = 0 \text{ より}$$

$$\frac{5}{3} \pi r^3 \cdot 980 = 2 \pi x T \text{ となり, 水のように, } T \doteq 74 \text{ (ダイン) の場合は, } r^2 \doteq 0.09, \therefore r \doteq 0.3, \text{ 同じく, } x \doteq 0.3 \text{ となる。}$$

これが, Fig. 2 における $\theta = 90^\circ$ の場合で, x がこれより小さくなれば, θ もまた小さくなり, 懸垂滴がガラス管側壁の影響を受け, 管壁にそつて, 引上げられるものと考えられる。

実験の部

1. 気泡附着と器壁の汚れの関係

汚れたガラスコップに, ビールやサイダーを注ぐと気泡が附着する現象は簡単に観察できるが, 汚染の度合と気泡附着の度合が一致するかを実験するために, 厚さ 1 cm の吸収セルにサイダーを入れ, $420 \sim 440 \text{ m}\mu$ 波長の光をあて, 吸光度を測定した。その結果は Table I に示す通りで, 汚染, 気泡附着, 吸光度が一連の関係にあることを示している。

Table I Relation between Contamination of Cell and Optical Absorption.

object	O.D. at $420 \sim 440 \text{ m}\mu$	bubbles
water in unclean cell	0.002~0.005	—
soda drink in clean cell	0.020	—
soda drink in unclean cell	0.030~0.032	—
soda drink in unclean cell	0.120~0.180	+

2. 液体の表面張力測定

マイクロビューレットの先端をヤスリで平にすり, 極めて静かに, 蒸留水を滴下してみた。

ビューレット下端の直径 $2x = 0.19 \text{ cm}$ で 1 ml 落下させるに 38 滴を要した。

従つて, 次の計算を行った。

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \times 38 = 1, \therefore r = 0.204, \text{ また, } x = 0.095.$$

従つて, $\tan \theta/2 = x/r = 0.466$ (Fig. 3).

これより, $\theta = 50^\circ$, $\therefore \cos \theta = 0.64$; $\sin \theta = 0.77$

これらの値を (2) 式に入れてみると,

$$\left. \begin{aligned} \frac{2}{3} \pi r^3 (1 + \cos \theta) g &= 28.00 \\ \pi x^2 r \cdot g &= 5.65 \\ 2 \pi x \cdot \sin \theta &= 0.46 \end{aligned} \right\} \text{ 但し, } P = 1 \text{ のとき}$$

従つて,

$$\begin{aligned} \text{表面張力 } T &= (28.0 + 5.65) \div 0.46 \\ &= 73.2 \text{ (ダイン)} \end{aligned}$$

すなわち常温における水の表面張力は,

$$73.2 \text{ (ダイン)/cm となる。}$$

Fig. 3 Geometrical drawing of Pendent Drop

この数値は, "International Critical Tables" Vol. IV (1928) に掲載された 73.49 (15°) に近似したものである。

考 察

サイダー, ビール, コカコーラなどの炭酸ガスを含む飲料は, どの喫茶店, レストランにもあるので, 気泡附着の実験は, いつでも行うことができる。よって, この試験法は, 極めて簡便で, 有効な臨場試験法としての応用がある筈である。筆者は数年にわたり国鉄衛生検査員として, 構内の喫茶店, レストランにおいて実施した結果, ガラスコップ類では, 指の届きにくい下部に気泡の附着がしばしば見られ, ときとして全面に附着が見られた。またジュース製造工場, 牛乳製造工場で, 洗びん状態をテストした結果, 背の高いジュースびんでは肩の部分, 牛乳びんでは最も底の隅の部分に気泡の附着が見られることが多かった。これは食品製造技術者が工場試験法として日常行い, 洗剤の追加時期, ブラシの交換時期を知る上に大いに役立つものと思う。

薬液点滴用ガラスコックの下端は, さきの理論で示したように, 直径 0.6 cm 以上になれば, 懸垂滴の上昇がなく, したがって, 薬液が不必要に空気に曝露して固化し, コックを閉塞させるような不都合なことは起らない。最近市販された R.K 社の次亜塩素酸ソーダ点滴器の点滴部は, 直径 0.8 cm 前後のガラス管を直角に切断しているので, 前記の理論に合致し, この為閉塞して点滴不能になることはない。Fig. 4 は, R.K 社の点滴管の先端につく懸垂滴の状態 (A) と, 従来のガラスコックの先端につく懸垂滴の状態 (B), (C) の比較を示すものである。

Fig. 4 Shapes of Pendent Drops attached to a Glass Tubing.

またマイクロビューレットを使用して, 液体の表面張力を測定した結果, 補正することなく, 公認の数値にほぼ一致した数値が得られたことは, さきの理論の正しさを裏付けるものである。また特に測定用の器具を使用しなくてすむので, 簡易測定法としての応用面もあるものと思われる。