

**ỦY BAN NHÂN DÂN TỈNH ĐỒNG THÁP
TRƯỜNG CAO ĐẲNG CỘNG ĐỒNG ĐỒNG THÁP**



GIÁO TRÌNH

*(Ban hành kèm theo Quyết định số /QĐ-CĐCĐ ngày tháng năm 2017
của Hiệu trưởng trường Cao đẳng Cộng đồng Đồng Tháp)*

**MÔN HỌC: KỸ THUẬT THỰC PHẨM 2
NGÀNH, NGHỀ: CÔNG NGHỆ THỰC PHẨM
TRÌNH ĐỘ: CAO ĐẲNG**

Đồng Tháp, năm 2017

TUYÊN BỐ BẢN QUYỀN

Tài liệu này thuộc loại sách giáo trình nên các nguồn thông tin có thể được phép dùng nguyên bản hoặc trích dùng cho các mục đích về đào tạo và tham khảo.

Mọi mục đích khác mang tính lệch lạc hoặc sử dụng với mục đích kinh doanh thiếu lành mạnh sẽ bị nghiêm cấm.

TaiLieu.vn

LỜI GIỚI THIỆU

Giáo trình này được biên soạn theo hướng tích hợp kiến thức và kỹ năng cần có của nghề công nghệ thực phẩm. Giáo trình đã cập nhật kiến thức tổng quát về cân bằng vật chất và cân bằng năng lượng trong chế biến thực phẩm.

Để hoàn thiện giáo trình này tôi đã nhận được ý kiến đóng góp của các cán bộ kỹ thuật, công ty và doanh nghiệp, quý thầy cô và Lãnh đạo Trường Cao đẳng Cộng đồng Đồng Tháp.

Tôi xin gửi lời cảm ơn đến các cán bộ kỹ thuật, các công ty và doanh nghiệp, Lãnh đạo Trường và quý thầy cô đã tham gia đóng góp ý kiến để giúp tôi hoàn thành giáo trình này.

Trong quá trình biên soạn chắc chắn không thể tránh khỏi những thiếu sót, rất mong nhận được những ý kiến đóng góp, hỗ trợ từ các cán bộ kỹ thuật, các công ty và doanh nghiệp, đồng nghiệp để giáo trình được hoàn thiện hơn.

Xin chân thành cảm ơn!

Đồng Tháp, ngày 15 tháng 8 năm 2017
Chủ biên

Trần Hồng Tâm

MỤC LỤC



	Trang
LỜI GIỚI THIỆU.....	i
MỤC LỤC	ii
GIÁO TRÌNH MÔN HỌC KỸ THUẬT THỰC PHẨM 2	1
Chương 1: CƠ HỌC LƯU CHẤT	2
1 Tính chất của chất lỏng	2
2 Đo độ nhớt của lưu chất	6
3 Cân bằng vật chất và năng lượng cho dòng chảy trong ống	18
4 Đo đặc dòng chảy	36
CHƯƠNG 2: TRUYỀN NHIỆT TRONG THỰC PHẨM.....	39
1 Giới thiệu.....	39
2 Các hình thức truyền nhiệt	39
3 Các định luật nhiệt động lực học.....	40
4 Dẫn nhiệt (conductive heat transfer)	43
CHƯƠNG 3: CÁC QUÁ TRÌNH CÔNG NGHỆ CƠ BẢN VÀ PHẠM VI	
 ỨNG DỤNG	55
1 Quá trình lắng.....	56
2. Quá trình lọc.....	58
3 Quá trình ly tâm.....	68
4 Quá trình phối trộn	75
5 Quá trình cô đặc	80
6 Quá trình chiên - rán	90
7 Quá trình sấy	93
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	100

GIÁO TRÌNH MÔN HỌC KỸ THUẬT THỰC PHẨM 2

Tên môn học/mô đun: Kỹ thuật thực phẩm 2

Mã môn học, mô đun: CCN 203

Vị trí, tính chất, ý nghĩa và vai trò của môn học/ mô đun:

- Vị trí: Môn cơ sở ngành, học sau môn Kỹ thuật thực phẩm 1.
- Tính chất: môn bắt buộc
- Ý nghĩa và vai trò của môn học/mô đun: Môn học trang bị kiến thức cơ bản về cơ học lưu chất, truyền nhiệt và các quá trình cơ bản dùng trong chế biến thực phẩm.

Mục tiêu của môn học/ mô đun:

- Về kiến thức:
 - + Biết được tính chất, phương pháp và thiết bị xác định độ nhớt của lưu chất, cân bằng vật chất và năng lượng cho dòng chảy trong ống, các thiết bị vận chuyển lưu chất nhằm giúp người học có thể lựa chọn, thiết kế, vận hành các thiết bị vận chuyển lưu chất
 - + Biết được các hình thức truyền nhiệt như: dẫn nhiệt, đối lưu nhiệt và bức xạ nhiệt, các quá trình truyền nhiệt ổn định và truyền nhiệt không ổn định, tính toán các quá trình truyền nhiệt, các thiết bị trao đổi nhiệt nhằm giúp người học có thể lựa chọn, thiết kế, vận hành các thiết bị, hệ thống truyền nhiệt trong nhà máy
 - + Biết được các quá trình cơ bản và ứng dụng vào trong lĩnh vực công nghệ chế biến thực phẩm
- Về kỹ năng: vận dụng kiến thức học được vào thực tế để lựa chọn, thiết kế hệ thống thiết bị, vận hành hệ thống các thiết bị trong công nghệ thực phẩm
- Về năng lực tự chủ và trách nhiệm: Ý thức về chuyên môn kỹ thuật và tính an toàn trong vận hành hệ thống các thiết bị trong nhà máy.

Nội dung của môn học/mô đun:

Số TT	Tên chương, mục	Thời gian (giờ)			
		Tổng số	Lý thuyết	Thực hành, thí nghiệm, thảo luận, bài tập	Kiểm tra
1	Chương 1: Cơ học lưu chất	16	6	2	1
2	Chương 2: Truyền nhiệt trong thực phẩm	16	10	2	1
3	Chương 3: Các quá trình công nghệ cơ bản và phạm vi ứng dụng	28	11	26	1
Cộng		60	27	30	3

Chương 1: CƠ HỌC LƯU CHẤT

Mã Chương: 1

Giới thiệu: Kiến thức cơ bản về Cơ học lưu chất dùng trong kỹ thuật.

Mục tiêu: trình bày tính chất, phương pháp và thiết bị xác định độ nhớt, cân bằng vật chất và năng lượng cho dòng chảy trong ống, các thiết bị vận chuyển lưu chất.

1 Tính chất của chất lỏng

Việc vận chuyển chất lỏng từ nơi này đến nơi khác có quan hệ rất mật thiết đến đặc tính của lưu chất. Các đặc tính của lưu chất có quan hệ với việc vận chuyển có thể kể đến: khối lượng riêng, độ nhớt của lưu thể...

Sự thay đổi các tính chất có ảnh hưởng trực tiếp đến việc tính toán cung cấp năng lượng cho dòng chảy, cũng như thể hiện các đặc tính của dòng chảy. Hiểu biết về tính chất của lưu chất giúp ta thiết kế, vận hành hệ thống vận chuyển thực phẩm trong nhà máy đạt được hiệu quả cao.

1.1 Vai trò của ứng suất trong dòng chảy

Sự chảy của lưu chất xảy ra khi có một lực tác dụng lên lưu chất. Lực tác dụng lên lưu chất có thể ở các hướng khác nhau.

Khi lực tác dụng theo phương thẳng góc với bề mặt lưu chất ta có áp suất (*pressure*). Đơn vị của áp suất là $\left[\frac{N}{m^2} \right]$ hay [Pa].

Khi lực tác dụng song song với bề mặt lưu chất ta có ứng suất cắt (*shear stress*). Đơn vị của ứng suất cắt là $\left[\frac{N}{m^2} \right]$ hay [Pa].

Khi ứng suất cắt tác dụng lên chất lỏng làm chất lỏng bị biến dạng. Ảnh hưởng của ứng suất cắt lên sự biến dạng của các vật liệu là yếu tố cơ bản để phân loại các loại vật liệu thực phẩm như: rắn, lỏng, khí, bán lỏng...

*** Vật liệu đàn hồi:** Khi ứng suất cắt tác dụng lên vật liệu đàn hồi sẽ làm vật liệu biến dạng (*theo quan hệ đường thẳng*), vật liệu không chảy (*vẫn còn giữ nguyên trạng thái*). Và khi loại bỏ lực tác dụng vật liệu sẽ trở lại dạng ban đầu.

*** Vật liệu ít đàn hồi:** Khi ứng suất tác dụng vật liệu sẽ bị biến dạng tốc độ biến dạng là một hàm số của ứng suất cắt (*không theo quan hệ đường thẳng*). Khi loại bỏ lực tác dụng chỉ một phần vật liệu trở lại dạng ban đầu (*không trở về trạng thái ban đầu hoàn toàn*), loại vật liệu này có thể kể đến: bơ, phomat...

*** Chất lỏng:** Khi ứng suất cắt tác dụng vật liệu bị biến dạng, tốc độ biến dạng là hàm số của ứng suất cắt (*có thể tuân theo qui luật đường thẳng hay theo qui luật hàm số mũ như trong trường hợp chất lỏng Newton và phi Newton*). Khi loại bỏ ứng suất vật liệu không có khả năng trở lại dạng ban đầu.

1.2 Khối lượng riêng (density)

Được định nghĩa là khối lượng trên một đơn vị thể tích ở cùng điều kiện xác định. Trong hệ SI khối lượng riêng có đơn vị là $[\text{kg/m}^3]$. Khối lượng riêng của lưu chất phụ thuộc vào nhiệt độ.

Tỷ trọng (*specific gravity*) là đại lượng không đơn vị. Là tỉ lệ giữa khối lượng riêng của chất cần xác định với khối lượng riêng của một chất nào đó (*thường là nước ở 4°C có khối lượng riêng là 1000 kg/m³*). Có thể xác định khối lượng riêng và tỷ trọng bằng Baumé kế (*độ Bé*), Brix kế...

Quan hệ giữa °Bé và tỷ trọng (d) theo công thức:

* Trong trường hợp:

+ Tỷ trọng $d > 1$, ta có quan hệ:

$$^{\circ}\text{Be}' = 145 - \frac{145}{d}$$

d: tỷ trọng của chất lỏng

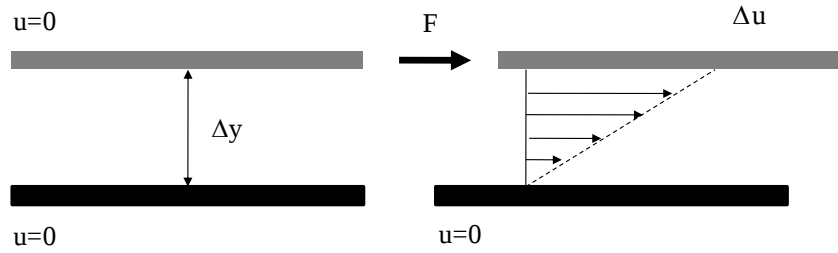
+ Tỷ trọng $d < 1$, ta có quan hệ:

$$^{\circ}\text{Be}' = \frac{140}{d} - 130$$

1.3 Độ nhớt (viscosity)

Là tính chất có ảnh hưởng rất lớn đến việc vận chuyển của lưu chất (*sự chảy của các chất lưu chất có vận tốc khác nhau khi cùng tác động một lực, chịu ảnh hưởng bởi độ nhớt của lưu chất*). Chất lỏng không có khả năng biến dạng thuận nghịch, chất lỏng sẽ chảy khi có một lực tác dụng và vận tốc chảy càng tăng khi lực tác dụng càng tăng. Các chất lỏng khác nhau sẽ chảy với tốc độ rất khác nhau với cùng một lực tác dụng. Tính chất cản trở sự chuyển động dòng chảy được gọi là độ nhớt.

Để hiểu rõ hơn về độ nhớt xét chi tiết ở (Hình 1.1)



Hình 1.1 Di chuyển của các lớp chất lỏng khi tác dụng lực

Khi quan sát hai lớp chất lỏng song song gần nhau có diện tích vô hạn (*rất dài và rất rộng*) như hình vẽ (**Hình 1.1**). Hai lớp chất lỏng quan sát cách nhau một khoảng là Δy . Lớp chất lỏng phía trên chịu tác dụng một lực F và sẽ di chuyển theo phương lực tác dụng với vận tốc là Δu , trong khi lớp chất lỏng phía dưới cố định có vận tốc $u = 0$ (*không di chuyển hay đứng yên*). Giữa 2 lớp chất lỏng quan sát, có vô số lớp chất lỏng khác và các lớp chất lỏng cũng chuyển động theo cùng phương của lực tác dụng. Lớp chất lỏng trên cùng chuyển động với vận tốc lớn nhất Δu và giảm dần theo hướng lớp phía dưới $u = 0$. Biểu đồ khác biệt vận tốc theo phương y có thể thấy ở (**Hình 1.1**). Các thực nghiệm cho thấy độ lớn của lực F có quan hệ với vận tốc (u), diện tích bề mặt tiếp xúc (A) và khoảng cách giữa 2 lớp chất lỏng (Δy).

Quan hệ giữa lực tác dụng với diện tích bề mặt, vận tốc và khoảng cách giữa 2 lớp chất lỏng được mô tả:

$$F \propto A \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad \text{với} \quad \gamma = \frac{\Delta u}{\Delta y} = \frac{du}{dy}$$

Với γ được gọi là gradient vận tốc (1/s).

Hoàn toàn có thể đặt một tham số μ bất kỳ để thể hiện mối quan hệ (μ có thể là hằng số hay hàm số bất kỳ), có thể viết lại:

$$\frac{F}{A} = \mu \left(-\frac{\Delta u}{\Delta y} \right)$$

$$\tau = \mu \left(-\frac{du}{dy} \right) = -\mu \cdot \frac{du}{dy}$$

Với dấu (-) để thể hiện lực (F) luôn luôn dương. Tham số μ là hằng số được gọi là độ nhớt và chất lỏng tuân theo phương trình trên được gọi là chất lỏng Newton (*Newtonian liquid*).

Một số chất lỏng thực phẩm có được xem là chất lỏng Newton có thể kể đến: mật ong, sữa tươi, nước quả... Độ nhớt của một số lưu chất được liệt kê ở (**Bảng 1.1**).

Bảng 1.1 Độ nhớt của một số lưu chất ở nhiệt độ phòng

Lưu chất	Độ nhớt μ (Pa.s)
- Không khí	10^{-5}
- Nước	10^{-3}
- Dầu	10^{-4}
- Glycerin	1
- Mật ong	10

(Nguồn: Heldman & Lund, 2007)

+ Đơn vị của độ nhớt

Với đơn vị của ứng suất cắt (τ)

$$\tau = \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] = [\text{Pa}]$$

và gradient vận tốc (γ)

$$\gamma = \frac{du}{dy} = \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \frac{1}{\text{m}} \right] = \left[\frac{1}{\text{s}} \right]$$

Vì vậy đơn vị của độ nhớt sẽ là $\mu = [\text{Pa.s}]$

Ngoài [Pa.s] người ta còn dùng Poise (P) hay Centipoise (cP).

$$1 \text{ cP} = 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

$$1 \text{ cP} = 0,01 \text{ P}$$

Với chất lỏng phi Newton, độ nhớt quan hệ với ứng suất và gradient vận tốc theo quan hệ hàm số mũ (*do chất lỏng phi Newton có độ nhớt thay đổi tùy theo lực tác dụng*).

$$\tau = K.\gamma^n$$

Với K: độ sệt $[\text{Pa.s}^n]$

n: chỉ số biểu thị độ sệt [không đơn vị]

(Thông thường $n < 1$)

Chất lỏng phi Newton là chất lỏng có độ nhớt thay đổi tùy theo ứng suất tác dụng hay nói cách khác nó không có độ nhớt thật, chỉ có độ nhớt biểu kiến (*apparent viscosity*).

Độ nhớt biểu kiến (μ_{app}) là độ nhớt tương ứng với một ứng suất xác định nào đó.

Bảng 1.2 Giá trị K và n của một số thực phẩm

Thực phẩm	Độ sệt K (consistency coefficient) Pa.s ⁿ	Chỉ số biểu thị độ sệt (behaviour index)
Nước trái cây cô đặc	2	0,7
Chocolate	50	0,5
Sữa chua	3	0,3
Pure cà chua	70	0,2
Pure táo	10	0,3
Xốt cà chua	18,7	0,27
Nước cam cô đặc (42°Brix)	4,1	0,58

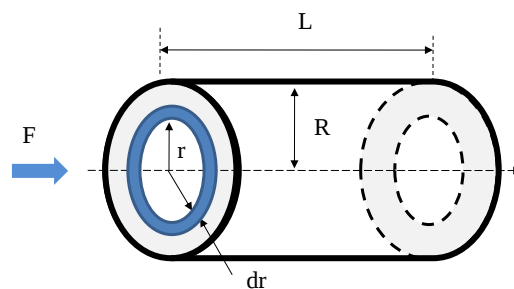
(Nguồn: Heldman & Lund, 2007)

2 Đo độ nhớt của lưu chất

Độ nhớt của lưu chất có thể được đo đặc bằng các phương pháp: ống mao quản, nhớt kế rotor, nhớt kế bi.... Phương pháp đo đặc độ nhớt bằng nhớt kế mao quản và nhớt kế rotor sẽ được đề cập đến ở phần này.

2.1 Nhớt kế mao quản

Xét 1 ống mao quản có chiều dài L và bán kính R. Với lực tác dụng F theo phương thẳng góc với diện tích mặt cắt ngang như (Hình 1.2).



Hình 1.2 Nhớt kế mao quản

Áp lực tác dụng trên thành ống theo phương song song. (Ứng suất (τ))

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot L}$$

Hay $F = \tau \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L$

Áp lực tác dụng theo phương thẳng góc. (Áp suất (ΔP))

$$\Delta P = \frac{F}{\pi \cdot r^2}$$

Hay $F = \Delta P \cdot \pi \cdot r^2$

Do có cùng một lực (F) tác dụng nên có thể viết lại

$$\tau \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L = \Delta P \cdot \pi \cdot r^2$$

Hay

$$\tau = \frac{\Delta P \cdot r}{2 \cdot L} = -\mu \left(\frac{du}{dr} \right)$$

Có thể chuyển đổi

$$du = \frac{-\Delta P \cdot r}{2 \cdot \mu \cdot L} dr$$

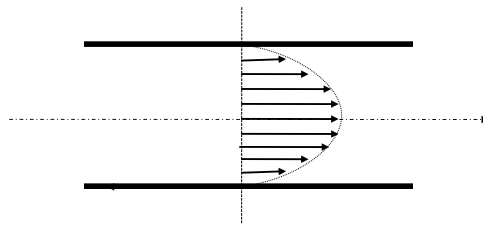
Với vận tốc $u = 0$ tại thành ống dẫn tương ứng với bán kính $r = R$ và vận tốc $u = U(r)$ tương ứng với bán kính bất kỳ r , ta được:

$$\int_0^{U(r)} du = \frac{-\Delta P}{2 \cdot \mu \cdot L} \int_R^r r \cdot dr$$

Lấy tích phân ta được phương trình phân bố vận tốc theo bán kính ống dẫn.

$$U(r) = \frac{\Delta P}{4 \cdot \mu \cdot L} (R^2 - r^2)$$

Phân bố vận tốc chất lỏng trong ống ($U(r)$) là hàm số bậc 2 theo bán kính (r) nên phân bố vận tốc chất lỏng chảy trong ống theo hình Parabol (**Hình 1.3**).



Hình 1.3 Phân bố vận tốc chất lỏng chảy trong ống nằm ngang

Ví dụ 1.1:

Một chất lỏng chảy trong ống nằm ngang có đường kính 2 cm dài 10 cm . Tổng thất áp lực ΔP được ghi nhận là 11 Pa, độ nhớt của chất lỏng $\mu = 5 \text{ Pa.s}$. Tính toán vận tốc của chất lỏng tại một số vị trí trong ống.

Giải

Vận tốc tại các vị trí trong ống dẫn được tính theo công thức

$$U(r) = \frac{\Delta P}{4 \cdot \mu \cdot L} (R^2 - r^2)$$

Xét một số vị trí trong ống mao quản

Vị trí	Vận tốc (m/s)
$r_1 = 0$	$U_1 = 0,000550$

$r_2 = 0,0025$		$U_2 = 0,000516$
$r_3 = 0,005$	$\Rightarrow$	$U_3 = 0,000413$
$r_4 = 0,0075$		$U_4 = 0,000241$
$r_5 = 0,1$		$U_5 = 0,000000$

Vận tốc trung bình $\bar{U} = 0,00034 \text{ m/s}$

Trong thực tế rất khó xác định vận tốc tại các vị trí trong ống dẫn. Chính vì vậy, vận tốc trung bình ($\bar{U}$) luôn được sử dụng trong các tính toán. Vận tốc trung bình được tính bằng lưu lượng (V) chia cho diện tích mặt cắt ngang (A).

Với vận tốc trung bình

$$\bar{U} = \frac{V}{A}$$

Gọi: Tiết diện cắt ngang của ống mao quản là $A = \pi.r^2$

Một diện tích vô cùng bé dA có thể diễn giải $dA = 2.\pi.r.dr$

V là thể tích của chất lỏng di chuyển qua khối ống trên một đơn vị thời gian hay còn gọi là lưu lượng (m^3/s).

Với $V = U(r).A$

hay

$$dV = U(r).(2.\pi.r.dr)$$

và với

$$U(r) = \frac{\Delta P}{4.\mu.L}(R^2 - r^2)$$

Ta có

$$dV = 2.\pi.r \frac{\Delta P}{4.\mu.L}(R^2 - r^2)dr$$

Với vận tốc chất lỏng tại sát thành ống dẫn $U(r) = 0$ (do đó $V = 0$) tương ứng với $r = R$ và vận tốc U (tương ứng với V) tại trung tâm ống dẫn ($r = 0$). Ta có:

$$\int_0^V dV = \int_R^0 2.\pi.r \frac{\Delta P}{4.\mu.L}(R^2 - r^2)dr$$

$$V = \frac{\pi.\Delta P.R^4}{8.\mu.L}$$

Độ nhớt của chất lỏng được xác định trong trường hợp sử dụng nhớt kế mao quản

$$\mu = \frac{\pi.\Delta P.R^4}{8.V.L}$$

Gọi $\bar{U}$ là vận tốc trung bình trong ống dẫn [m/s]

Ta có $V = \bar{U} \cdot \pi \cdot R^2$

Thay vào phương trình trên ta được

$$\mu = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot R^4}{8 \cdot V \cdot L} = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot R^4}{8 \cdot \bar{U} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot L} = \frac{\Delta P \cdot R^2}{8 \cdot \bar{U} \cdot L}$$

Quan hệ giữa vận tốc trung bình và vận tốc tại các vị trí trong ống dẫn có thể biểu diễn theo phương trình sau.

Vận tốc trung bình:

$$\bar{U} = \frac{\Delta P \cdot R^2}{8 \cdot \mu \cdot L}$$

Phân bố vận tốc trong ống

$$U(r) = \frac{\Delta P}{4 \cdot \mu \cdot L} (R^2 - r^2)$$

$$U(r) = 2 \cdot \bar{U} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

$$\frac{dU(r)}{dr} = 2 \cdot \bar{U} \left[\frac{2r}{R^2} \right]$$

Với chất lỏng Newton và với $r = R$ ta có

$$\frac{dU}{dr} = \frac{4 \cdot \bar{U}}{R} = \frac{8 \cdot \bar{U}}{D} = \text{gradient vận tốc } (\gamma)$$

Với D: đường kính ống dẫn (m)

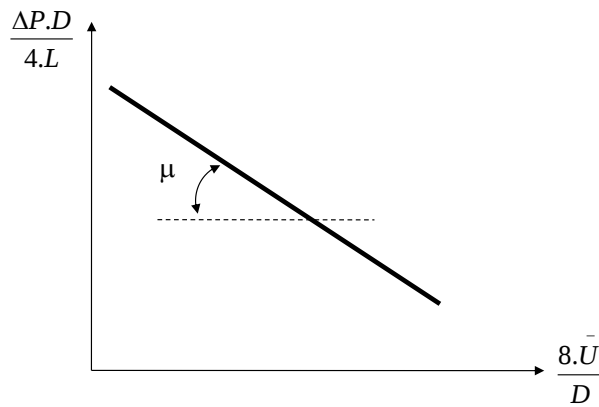
$$\frac{-dU}{dr} = \frac{-8 \cdot \bar{U}}{D}$$

Ứng suất được biểu diễn

$$\tau = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot L} = \mu \cdot \left(\frac{-dU}{dr} \right)$$

$$\frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot L} = \mu \cdot \left(\frac{-8 \cdot \bar{U}}{D} \right)$$

Từ phương trình trên ta có thể tính toán được độ nhớt của chất lỏng khi chảy trong ống mao quản có đường kính (D) và chiều dài (L) nếu biết lưu lượng (V) và áp suất (ΔP).



Hình 1.4 Đồ thị xác định độ nhớt chất lỏng Newton trong ống mao quản

Với chất lỏng phi Newton không có độ nhớt thực. Độ nhớt biểu kiến (μ_{app}) (Độ nhớt tương ứng với một điều kiện xác định) được tính bằng công thức.

$$\mu_{app} = \frac{\Delta P \cdot R^2}{8 \cdot \bar{U} \cdot L}$$

Với

$$\tau = \frac{\Delta P \cdot R}{2 \cdot L}$$

Có thể chuyển đổi

$$\mu_{app} = \tau \frac{R}{4 \cdot \bar{U}}$$

Hay gradient vận tốc (γ) được tính:

$$\gamma = \left[\frac{4\bar{U}}{R} \right]$$

Với độ nhớt của chất lỏng phi Newton được tính theo quan hệ hàm số mũ

$$\tau = K \cdot \gamma^n$$

Có thể viết lại quan hệ ứng suất cắt và các tham số biểu thị độ nhớt của chất lỏng phi Newton.

$$\tau = K \cdot \left(\frac{4 \cdot \bar{U}}{R} \right)^n$$

$$\mu_{app} = \tau \cdot \frac{R}{4 \cdot \bar{U}} = \frac{R}{4 \cdot \bar{U}} \cdot K \cdot \left(\frac{4 \cdot \bar{U}}{R} \right)^n = K \cdot \left(\frac{4 \cdot \bar{U}}{R} \right)^{n-1}$$

Hay

$$\mu_{app} = K \cdot (\gamma)^{n-1}$$

Lấy logarit phương trình trên ta được:

$$\ln(\mu_{app}) = \ln(K) + (n - 1) \cdot \ln(\gamma)$$

Để dàng thấy phương trình trên có dạng $y = a_0 + a_1.x$ Với $y = \ln(\mu_{app})$ và $x = \ln(\gamma)$

Hệ số góc $a_1 = (n - 1)$

và $a_0 = \ln(K)$

Ví dụ 1.2:

Cho quan hệ giữa ứng suất cắt và gradient vận tốc như sau:

τ (Pa)	γ (1/s)
50,008	99,966
61,209	149,92
70,710	199,87
79,062	249,83
111,82	499,83

Tính độ sệt (K) và chỉ số thể hiện độ sệt (n)

Giải

Ta có quan hệ: $\tau = K.\gamma^n$

Chuyển thành quan hệ đường thẳng

$$\ln(\tau) = \ln(K) + n\ln(\gamma)$$

Dữ liệu trong bảng sẽ chuyển thành

$\ln(\tau)$	$\ln(\gamma)$
3,91	4,60
4,11	5,01
4,26	5,30
4,37	5,52
4,72	6,21

Đặt $y = \ln(\tau)$ và $x = \ln(\gamma)$

Ta có phương trình có dạng $y = a_0 + a_1x$

Với hệ số góc $a_1 = n$ và giao điểm với trục tung $a_0 = \ln(K)$

Kết quả tính toán (sử dụng hàm $=slope(y..y;x..x)$ cho a_1 và $=intercept(y..y;x..x)$ cho a_0 trong Excel, hệ số tương quan $=rsq((y..y;x..x))$

$$a_1 = 0,5 \text{ và } a_0 = 1,6$$

Kết quả: chỉ số thể hiện độ sệt **$n = 0,5$** và độ sệt **$K = 5 \text{ Pa.s}^n$**

Ví dụ 1.3:

Đo đặc độ nhớt của chất lỏng phi Newton tại các gradient vận tốc khác nhau. Kết quả thu nhận được bảng sau. Tính toán độ sệt (K) và chỉ số thể hiện độ sệt (n).

μ_{app} (Pa.s)	γ (1/s)
0,406	121
0,301	205
0,255	285
0,209	380
0,174	505

Giải

Ta có quan hệ:

$$\mu_{app} = K\gamma^{n-1}$$

Có thể chuyển đổi thành

$$\ln(\mu_{app}) = \ln(K) + (n-1)\ln(\gamma)$$

Đặt $Y = \ln(\mu_{app})$ và $X = \ln(\gamma)$

Dữ liệu sẽ chuyển thành

$Y = \ln(\mu_{app})$	$X = \ln(\gamma)$
-0,9014	4,795791
-1,20065	5,32301
-1,36649	5,652489
-1,56542	5,940171
-1,7487	6,224558

Hệ số góc $a_1 = -0,59$ hay $(n-1) = -0,58943 \rightarrow n = 0,41$

Giao điểm với trục tung $a_0 = 1,94$ hay $\ln(K) = 1,94$ hay $K = 6,93$

Kết quả độ sệt $K = 6,93 \text{ Pa.s}^n$; Chỉ số thể hiện độ sệt $n = 0,41$

Ví dụ 1.4:

Một nhớt kế mao quản được sử dụng đo độ nhớt của mật ong tại 30°C. Đường kính ống mao dẫn là 2,5 cm, chiều dài ống mao dẫn là 25 cm. Các số liệu thu được từ thí nghiệm cho ở bảng sau:

ΔP (Pa)	V (cm ³ /s)
10,0	1,25
12,5	1,55
15,0	1,80

17,5	2,05
20,0	2,55

Giải

Tính với $\Delta P = 12,5 \text{ Pa}$

$$R = 2,5 \text{ cm} = 0,025 \text{ m}$$

$$L = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

$$V = 1,55 \text{ cm}^3/\text{s} = 1,55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

Sử dụng phương trình tính toán độ nhớt

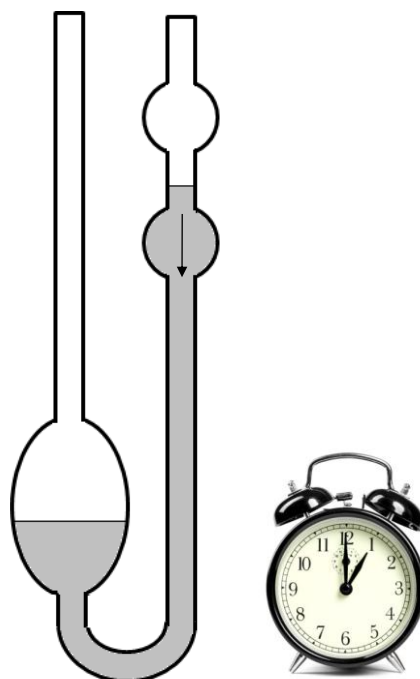
$$\mu = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot R^4}{8 \cdot V \cdot L} = \frac{\pi \cdot 12,5 \cdot 0,025^4}{8 \cdot 1,551 \cdot 10^{-6} \cdot 0,25} = 4,948 \text{ Pa.s}$$

Lập lại tính toán với các giá trị khác của ΔP và V ta thu được bảng sau:

$\Delta P \text{ (Pa)}$	$V \text{ (m}^3/\text{s)}$	$\mu \text{ (Pa.s)}$
10,0	$1,25 \cdot 10^{-6}$	4,91
12,5	$1,55 \cdot 10^{-6}$	4,95
15,0	$1,80 \cdot 10^{-6}$	5,11
17,5	$2,05 \cdot 10^{-6}$	5,24
20,0	$2,55 \cdot 10^{-6}$	4,81
Trung bình		5,00

Với cùng một chất lỏng (*mật ong*) kết quả tính toán cho thấy có 5 giá trị độ nhớt khác nhau. Tuy nhiên khác biệt nhỏ, do đó có thể kết luận là chất lỏng khảo sát có thuộc tính của chất lỏng Newton và độ nhớt được tính theo giá trị trung bình là 5 Pa.s (trong trường hợp khác biệt lớn có thể kết luận chất lỏng đo đạc có đặc tính của chất lỏng phi Newton).

Trong trường hợp sử dụng lực trọng trường (*chất lỏng chảy dưới tác dụng của trọng lực*) $\Delta P = \rho \cdot g \cdot L$, với L là chiều cao cột chất lỏng (m) (ΔP : thế năng của chất lỏng).



Hình 1.5 Nhớt kế Ostwald

Phương trình tính toán độ nhớt sẽ trở thành

$$\mu = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot R^4}{8 \cdot V \cdot L} = \frac{(\rho \cdot g \cdot L) \pi \cdot R^4}{8 \cdot V \cdot L} = \frac{\pi \cdot \rho \cdot g \cdot R^4}{8 \cdot V}$$

Có thể chuyển đổi:

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\pi \cdot g \cdot R^4}{8 \cdot \frac{Q}{t}} = \left(\frac{\pi \cdot g \cdot R^4}{8 \cdot Q} \right) \cdot t$$

Với Q: là thể tích của dung dịch chảy trong ống mao quản (m^3)

Gọi k là hằng số dụng cụ

$$k = \frac{\pi \cdot g \cdot R^4}{8 \cdot Q}$$

Ta có:

$$\frac{\mu}{\rho} = k \cdot t$$

Phương trình trên được sử dụng để tính toán độ nhớt của chất lỏng bằng nhớt kế mao quản nếu biết khối lượng riêng (ρ), hằng số dụng cụ (k) và thời gian chảy hết dung dịch cần xác định độ nhớt (t) trong ống mao quản (*trong trường hợp chảy do thế năng (nhớt kế ostwald)*).

Chất lỏng biết trước độ nhớt (μ) và khối lượng riêng (ρ) (*thường sử dụng nước cất*) luôn được sử dụng để tính hằng số dụng cụ (k). Hệ số k được sử dụng trong xác định độ nhớt của dung dịch khác (*với cùng điều kiện thiết bị*).

Tỉ số $\frac{\mu}{\rho}$ được gọi là độ nhớt động học

Ví dụ 1.5:

Một nhớt kế mao quản dùng xác định độ nhớt của dung dịch 10 cP có thời gian chảy là 1,5 phút. Chất lỏng cần đo có độ nhớt có thời gian chảy được ghi nhận là 2,5 phút. (giả sử 2 chất lỏng có cùng khối lượng riêng). Tính độ nhớt của chất lỏng.

Giải

$$\frac{\mu}{\rho} = k \cdot t$$

Hay

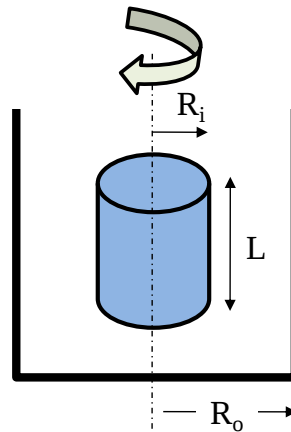
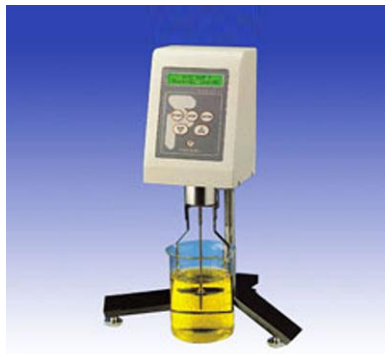
$$k = \frac{\mu}{\rho \cdot t} = \frac{10}{1,5 \cdot \rho}$$

Chất lỏng cần tính độ nhớt sẽ là

$$\mu = \rho \cdot \left(\frac{10}{1,5 \cdot \rho} \right) \cdot 2,5 = 16,67 \text{ cP}$$

2.2 Nhớt kế Roto

Cấu tạo gồm một xy lanh quay quanh trục như (**Hình 1.6**). Moment xoắn (Ω) là đại lượng dùng trong tính toán độ nhớt.



Hình 1.6 Nhớt kế roto

Ta có moment xoắn (Ω)

$$\Omega = 2 \pi r^2 L \tau$$

$$\tau = \frac{\Omega}{2\pi r^2 L}$$

Với

$$\gamma = r \cdot \frac{d\omega}{dr}$$

và

$$\tau = -\mu \cdot \gamma$$

Ta có

$$\frac{\Omega}{2\pi r^2 L} = -\mu \left(\frac{d\omega}{dr} \right)$$

Hay

$$d\omega = \frac{-\Omega}{2\pi \mu r^3 L} dr$$

Với các điều kiện tương ứng ta có

$$\int_0^{\omega_i} d\omega = -\frac{\Omega}{4\pi \mu L} \int_{R_o}^{R_i} r^{-3} dr$$

$$\omega_i = \frac{\Omega}{4\pi \mu L} \left[\frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_o^2} \right]$$

Với

$$\omega_i = 2 \cdot \pi \cdot N$$

Độ nhớt được tính

$$\mu = \frac{\Omega}{8\pi^2 L N} \left[\frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_o^2} \right]$$

Trong trường hợp R_o lớn (dụng cụ chứa dung dịch xác định độ nhớt có đường kính lớn)

$$R_o \text{ lớn} \rightarrow \frac{1}{R_o} \rightarrow 0 \text{ có thể bỏ qua}$$

Có thể viết lại

$$\mu = \frac{\Omega}{8\pi^2 L N} \left[\frac{1}{R_i^2} \right]$$

Đây là phương trình để xác định độ nhớt của chất lỏng bằng nhớt kế roto. Các tham số cần biết trong phương trình là Ω (moment xoắn), số vòng quay N (vòng/s) và kính thước của rotor (chiều cao L (m), bán kính R_i (m)).

Với chất lỏng phi Newton ta có quan hệ giữa số vòng quay (N vòng/s) và độ nhớt biểu kiến (μ_{app}) như sau:

$$\mu_{app} = \left(\frac{1}{n} \right)^n \cdot (4 \cdot \pi \cdot N)^{n-1} \cdot K$$

Khi thay đổi số vòng quay của rotor một độ nhớt tương ứng với điều kiện thí nghiệm sẽ được thu nhận (độ nhớt biểu kiến) và từ đó mối quan hệ số vòng quay (N) và