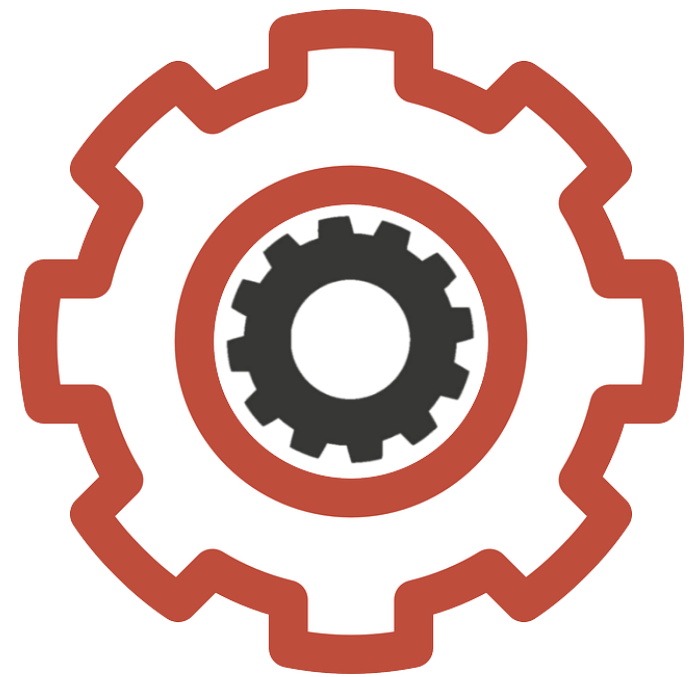




ความหนืด (Viscosity)





ความหนืด คือ ความต้านทานภายในต่อการเคลื่อนที่ของของไหลหรือหมายถึง การต้านทาน การเฉือนในเนื้อของของไหล ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อของไหลแต่ละชั้นซึ่งอยู่ข้างเคียงกันเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เท่ากัน ความต้านทานนี้เกิดจากแรงเสียดทานของโมเลกุลของของไหลซึ่งเสียดสีกันโดยอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อความหนืดมาก



1. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด แรงต้านการเฉือน และความเร็ว
2. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิ
3. ผลของการเฉือนที่มีต่อความเหลว
4. ผลของความดันที่มีต่อความหนืด
5. ความหนืดสัมบูรณ์
6. ความหนืดจลน์
7. การหาความหนืดจลน์โดยใช้ Saybolt Viscosity
8. การหาความหนืดโดยใช้หลอดคาปิลลารี



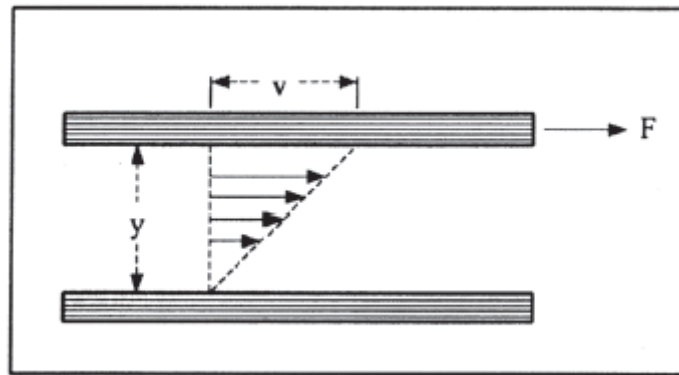
1. แสดงความรู้เกี่ยวกับความหนืด
2. คำนวณประมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความหนืด



1. อธิบายความหมายของความหนืดได้ถูกต้อง
2. อธิบายความสัมพันธ์ความหนืด แรงต้านการเฉือน และความเร็วได้ถูกต้อง
3. อธิบายความหมายความหนืดสัมบูรณ์และความหนืดจลน์ได้ถูกต้อง
4. อธิบายการหาความหนืดจลน์โดยใช้ Saybolt Viscosity และหลอดคาปิลลารีได้ถูกต้อง
5. คำนวณหาค่าความหนืดสัมบูรณ์ ความหนืดจลน์ ความเค้นเฉือน และแรงดิ่งที่กระทำกับผิวของของไหลได้ถูกต้อง

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด แรงต้านการเฉือน และความเร็ว

ความหนืด (Viscosity) หมายถึง การต้านทานการเฉือนในเนื้อของของไหล ของไหลที่ข้นมากจะมีค่าความหนืดสูงกว่าของไหลที่ใสโดยปกติ ถ้าอุณหภูมิของของไหลเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดจะลดลง



จากรูป แผ่นราบสองแผ่นวางซ้อนห่างกันเท่ากับ y ระหว่างแผ่นราบบรรจุของไหล มีความหนืด (μ) แผ่นราบแผ่นบนถูกดึงด้วยแรง F ทำให้เกิดความเร็วเท่ากับ v ดังนั้น ของไหลที่ติดกับแผ่นราบแผ่นบนมีความเร็ว v และจะลดลงจนถึงราบแผ่นล่าง ความเร็วจะเป็นศูนย์(0)

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด แรงต้านการเฉือน และความเร็ว

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและแรงต้านการเฉือน ดังนี้

$$\tau = \frac{\mu v}{y}$$

... 2.1

และ $\tau = \frac{F}{A}$

ดังนั้น $\frac{F}{A} = \frac{\mu \cdot v}{y}$

เพราะฉะนั้น

$$F = \frac{\mu \cdot v \cdot A}{y}$$

... 2.2

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด แรงต้านการเฉือน และความเร็ว

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและแรงต้านการเฉือน ดังนี้

τ = ความเค้นเฉือนของของไหล (N/m^2)

F = แรงดิ่งที่กระทำกับแผ่นราบแผ่นบน (N)

μ = ความหนืดสัมบูรณ์ ($\frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2} = \text{Pa}\cdot\text{s}$)

A = พื้นที่ส่วนสัมผัสกับของเหลวของแผ่นราบแผ่นบน (m^2)

v = ความเร็วของการเคลื่อนที่ของแผ่นบน (m/s)

y = ระยะห่างระหว่างผิวของแผ่นงานทั้งสอง (m)

ในระบบเมตริกและ SI Unit กำหนดเป็น พอยส์ (Poise)

โดย $1 \text{ Poise} = \text{dyne}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$

$1 \text{ Poise} = 0.1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

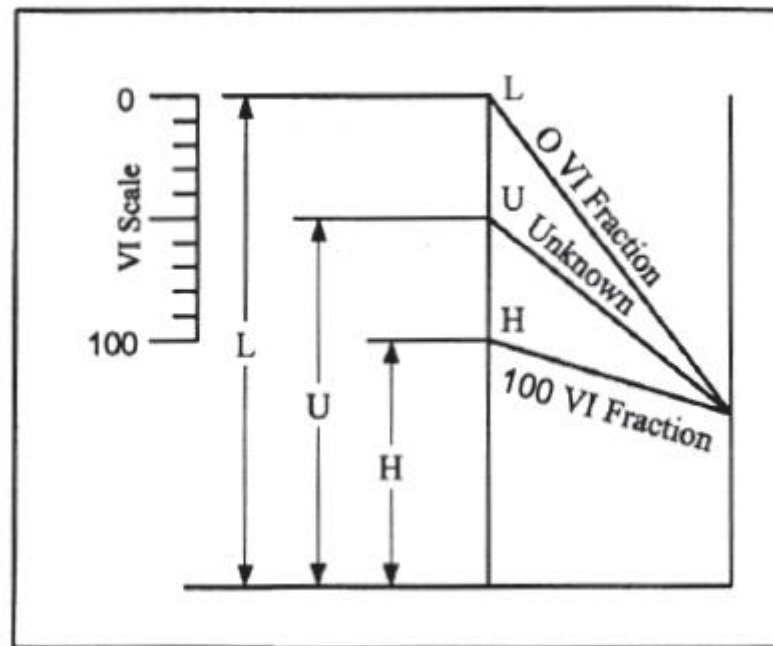
ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิ

ความหนืดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของน้ำมัน และในขณะเดียวกัน อุณหภูมิก็เป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อความหนืดมากที่สุด เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้นความหนืดจะลดลงแต่ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของความหนืดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน จะแตกต่างกันไปตามส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันแต่ละชนิด และเนื่องจากความหนืดมีอิทธิพลต่อความเสียดทานของการไหลและความดันเป็นอย่างมาก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของความหนืดเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการขนส่งของไหลไปตามท่อ และการหล่อลื่น

Dean และ Davies เป็นผู้เสนอระบบสำหรับเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เรียกว่า ดัชนีความหนืด (viscosity index) โดยกำหนดให้ น้ำมันดิบ L และ H ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดมากที่สุดและน้อยที่สุดตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนให้ดัชนีความหนืดเป็น 0 และ 100 ตามลำดับ ดังนั้น น้ำมันดิบอื่นๆ ก็จะมีค่าความหนืดอยู่ระหว่าง 0 และ 100 แต่ในปัจจุบันการเติมสารเคมีเข้าไปทำให้น้ำมันหลายชนิดมีดัชนีความหนืดสูงกว่า 100 หรือต่ำกว่า 100 หรือต่ำกว่า 0 ได้

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิ

การหาดัชนีความหนืดทำได้โดยหาน้ำมันซึ่งมีดัชนีความหนืด 0 และ 100 ซึ่งต่างก็มีความหนืด ที่ 210 °F เท่ากับความหนืดของน้ำมันซึ่งต้องการหาดัชนีความหนืด นำน้ำมันทั้งสามชนิดมาหาความหนืดที่ 100 °F



ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิ

จะได้ว่า

$$\text{Viscosity Index} = \frac{L-U}{L-H} \times 100$$

... 2.3

โดย

L	=	ความหนืดที่ 100 °F ของน้ำมันซึ่งมีดัชนีความหนืด 0
H	=	ความหนืดที่ 100 °F ของน้ำมันซึ่งมีดัชนีความหนืด 100
U	=	ความหนืดที่ 100 °F ของน้ำมันซึ่งจะหาดัชนีความหนืด

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิ

ค่าความหนืดที่ใช้ในสมการ (2.3) จะเป็นเซโบลต์ หรือ คิเนแมติกส์ ก็ได้ แต่ควรใช้ค่าความหนืดคิเนแมติกส์ เพราะให้ผลซึ่งถูกต้องกว่า

น้ำมันเครื่องในปัจจุบัน ซึ่งมีดัชนีความหนืดสูงกว่า 100 ทำโดยเติม Polymeric additive (เรียกว่า VI Improver) ลงใน Base Oil พอลิเมอร์เหล่านี้มีโมเลกุลใหญ่มาก ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 350 ถึง 1,400 หรือมากกว่า พอลิเมอร์ซึ่งละลายอยู่ในน้ำมันนี้ มีคุณสมบัติสามารถเกาะตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นได้ผลก็คือ น้ำมันผสมพอลิเมอร์เหล่านี้ จะมีอัตราการเปลี่ยนความหนืดน้อยลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน เพราะแรงเสียดทานของพอลิเมอร์โมเลกุลที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ความหนืดของของผสมมากกว่าเดิม

ผลของการเฉือนที่มีต่อความเหลว

เนื่องจากน้ำมันผสมพอลิเมอร์มีคุณสมบัติเป็น นอน-นิวโทเนียน กล่าวคือ ความหนืดจะเปลี่ยนแปลงตามอัตราการเฉือนด้วย ซึ่งจากการทดลองพบว่าน้ำมันเครื่องซึ่งผสมพอลิเมอร์เหล่านี้ จะมีความหนืดและดัชนีความหนืดลดลง เมื่อถูกเฉือนด้วยอัตราที่สูงพอ ดังนั้น ปริมาณพอลิเมอร์ที่ ผสมเข้าไปจะต้องคำนึงถึงทั้งดัชนีความหนืดและ shear stability

การสูญเสียความหนืดที่อัตราการเฉือนสูงๆ นี้ อาจเป็นการสูญเสียอย่างถาวรเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของโมเลกุลให้เล็กลงไม่ว่าจะโดยเชิงเคมีหรือเชิงกล หรือ อาจเป็นการสูญเสียชั่วคราวเนื่องจากโมเลกุลของพอลิเมอร์เรียงตัวเป็นเส้นยาวทำให้แรงเสียดทานน้อยลงก็ได้ทั้งสองอย่าง

ผลของความดันที่มีต่อความหนืด

เมื่อน้ำมันหล่อลื่นที่มีความดันสูงขึ้นตั้งแต่ช่วง 10^3 ปอนด์/ตารางนิ้ว ขึ้นไปจะต้องคำนึงถึงอิทธิพลของความดันที่มีต่อความหนืด เมื่อความดันสูงขึ้นความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะสูงขึ้นด้วย สูตรเอมไพริเคิลที่ใช้กันมากที่สุด คือ

$$Z_P = Z_0 (KP)$$

... 2.4

โดย

Z_P	=	ความหนืดสัมบูรณ์ที่มีความดัน P
Z_0	=	ความหนืดสัมบูรณ์ที่มีความดันบรรยากาศ
K	=	ค่าคงที่เฉพาะของน้ำมันแต่ละชนิดที่แต่ละอุณหภูมิ
P	=	ความดันเป็น ปอนด์/ตารางนิ้ว

ผลของความดันที่มีต่อความหนืด

สำหรับน้ำมันทั่ว ๆ ไปอาจสรุปได้ว่า

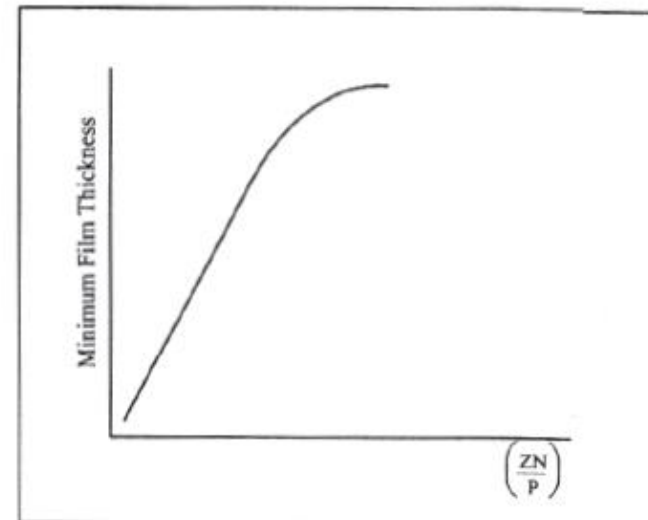
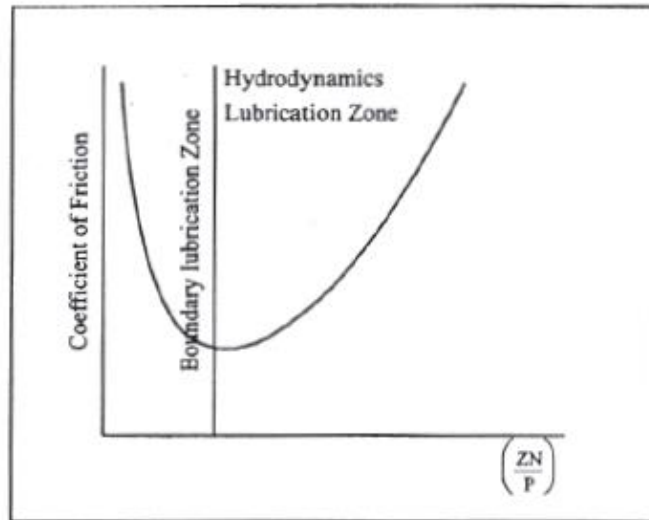
1. อัตราการเพิ่มความหนืดเมื่อเพิ่มความดันจะมีค่าสูงที่ความดันสูงมากกว่าที่ความดันต่ำ
2. การเปลี่ยนแปลงความดันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมัน ซึ่งมีความหนืดน้อย น้อยกว่าน้ำมันซึ่งมีความหนืดมาก
3. เมื่อความดันสูงขึ้น ดัชนีความหนืดของน้ำมันจะสูงขึ้นด้วย น้ำมันฐานพาราฟิน จะมีอัตราการเพิ่มดัชนีความหนืดน้อยกว่าน้ำมันฐานแนฟทาโนค

ในกรณีของการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกส์ชิ้นส่วนเคลื่อนไหวยจะแยกจากกันโดยมีฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นสอดแทรกอยู่ และเป็นตัวรองรับน้ำหนักทั้งหมด แบริงซึ่งมีความดันของน้ำมันหล่อลื่นส่วนใหญ่ได้มาจากภายนอก เรียกว่า Externally Pressurized หรือ Hydrostatic ส่วนแบริงซึ่งความดันทั้งหมดเกิดขึ้นจากการไหลของน้ำมันภายในแบริง เรียกว่า Externally pressurized หรือ Hydrodynamic

ผลของความดันที่มีต่อความหนืด

จะเห็นได้ว่าน้ำมันจะถูกบังคับให้ไหลไปในช่องว่างซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเล็กลงเรื่อย ๆ ด้วยการเคลื่อนที่ของเพลลา ประกอบกับการต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากความหนืด เมื่อพื้นที่หน้าตัดเล็กลงเรื่อย ๆ น้ำมันบางส่วนก็จะพยายามหนืดออกไปทางปลายทั้งสองของแบริง แต่ความหนืดจะต้านทานการไหลไว้

ดังนั้นความดันของน้ำมันที่ไหลไปแบริงจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าสูงสุดบริเวณซึ่งฟิล์มของน้ำมันบางที่สุด (Minimum Film Thickness) จากรูป จะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและความหนาต่ำสุดของฟิล์มเก็บบจะขึ้นอยู่กับ Dimensionless Parameter



ผลของความดันที่มีต่อความหนืด

จะเห็นได้ว่า

$$\frac{\mu U}{W} = \frac{\pi Z N}{P}$$

... 2.5

โดย

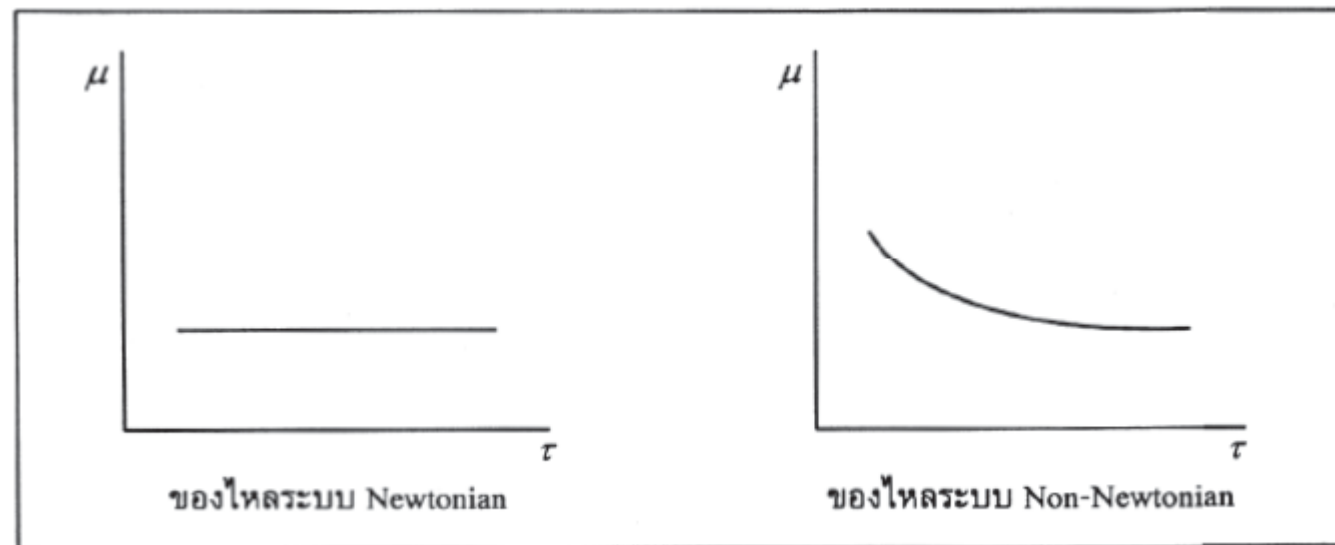
Z	=	ความหนืดสัมบูรณ์ของน้ำมัน
N	=	อัตราการหมุนของเพลลา
P	=	น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ของแบริง
U	=	ความเร็วในการไหล
W	=	น้ำหนักของเพลลา

ผลของความดันที่มีต่อความหนืด

เมื่อลดค่าของ $\frac{ZN}{P}$ ลงซึ่งอาจทำได้โดยเพิ่มโหลด P ลดความเร็ว N หรือลดความหนืด Z ลง ความหนาของฟิล์มส่วนที่บางที่สุดจะลดลง เมื่อฟิล์มบางลงถึงค่าๆ หนึ่ง ฟิล์มของน้ำมันจะขาดและหลักการของการหล่อลื่น แบบฟิล์มจะใช้ไม่ได้ การหล่อลื่นจะเปลี่ยนจากการหล่อลื่นแบบฟิล์ม เป็นแบบ “บาวดารี” (Boundary Lubrication) ซึ่งจะมีการสัมผัสระหว่างชิ้นส่วนของแปรงบางจุด

ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute Viscosity)

ความหนืดสัมบูรณ์ (μ) เป็นค่าคงที่ของไหลตามสมการ 2.1 กล่าวคือ ความหนืดสัมบูรณ์มีค่าคงที่ที่แต่ละอุณหภูมิและความดันเรียกว่า ของไหลแบบราบเรียบ (Newtonian) ดังนั้นในของไหลแต่แบบเรียบ ความเค้นเฉือนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเฉือน มีของไหลบางชนิด ซึ่งความหนืดเปลี่ยนแปลงตามอัตราการเฉือนได้ทั้งอุณหภูมิและความดันคงที่ ของไหลแบบนี้เรียกว่า ของไหลแบบไม่ราบเรียบ (Non-Newtonian) ดังตัวอย่างเช่น โลหิต น้ำมันข้น และไข่



ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute Viscosity)

จากทฤษฎีการไหลแบบต่อเนื่องในท่อกลม แสดงด้วยสมการ

$$Q = \frac{q}{t} = \frac{\pi \Delta P r^4}{8 L \mu}$$

... 2.6

โดย

Q

=

ปริมาตรอัตราการไหล

q

=

ปริมาตรการไหล

t

=

เวลาซึ่งปริมาตร q ใช้ในการไหล

ΔP

=

ความแตกต่างของความดันระหว่างสองจุดซึ่งอยู่ห่างกันเป็นระยะทาง L

r

=

รัศมีภายในท่อ

μ

=

ความหนืดสัมบูรณ์

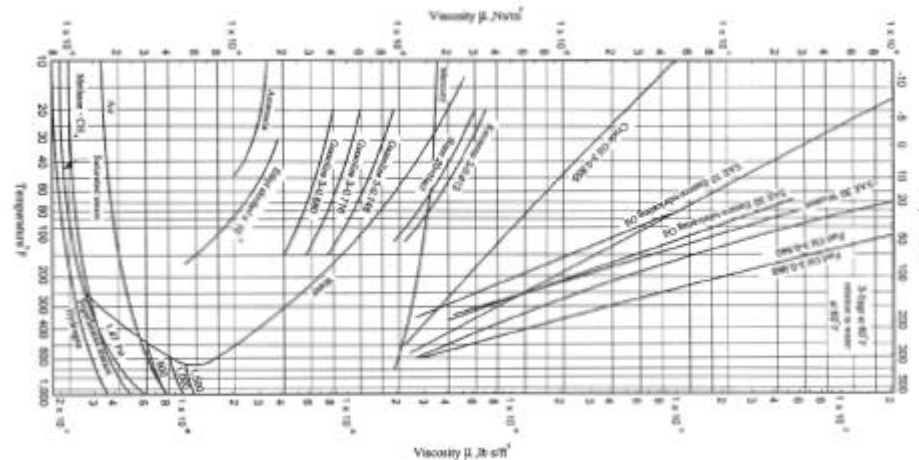
ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute Viscosity)

จากสมการที่ 2.6 หาค่าความหนืดสัมบูรณ์ของของไหลแบบนิวโทเนียน จะได้ว่า

$$\mu = \frac{\pi \Delta p r^4 \cdot t}{8 L q}$$

... 2.7

จากรูปแสดงความหนืดสัมบูรณ์ของของไหลบางชนิด



ความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity)

ความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity) หมายถึง ความหนืดสัมบูรณ์ของไหลต่อความหนาแน่นของของไหลนั้น

$$\text{ความหนืดจลน์} = \frac{\text{ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล}}{\text{ความหนาแน่นของของไหลนั้น}}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

... 2.8

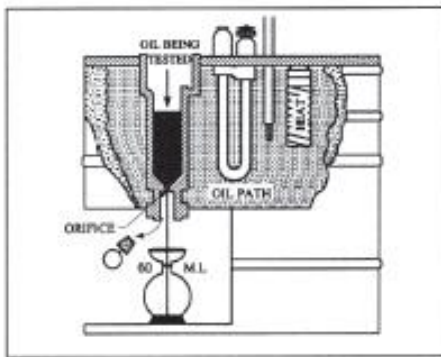
โดย	ν	=	ความหนืดจลน์ของของไหล (m^2/s)
	μ	=	ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)
	ρ	=	ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

ในระบบเมตริก หน่วยของความหนืดจลน์ คือ สโตค (Stoke)

โดย $1 \text{ Stoke} = \text{cm}^2/\text{sec}$

การหาความหนืดจลน์โดยใช้ Saybolt Viscosity

การหาความหนืดจลน์โดยใช้ Saybolt Universal Viscosimeter เป็นเครื่องมือหาความหนืดของของไหล โดยให้ของไหลบรรจุในภาชนะทรงกระบอกไหลลงสู่ขวดมาตรฐานและจับเวลา เวลาดังกล่าวเรียกว่า Saybolt Universal Second ซึ่งสามารถจะนำไปหาค่าความหนืดจลน์ได้ จาก



จะได้ว่า

$$\sqrt{v} = 0.22t - \frac{180}{t} \quad \dots 2.9$$

โดย

$\sqrt{v}$

=

ความหนืดจลน์ในหน่วย Centiskoke

t

=

Saybolt Universal Second

การหาความหนืดโดยใช้หลอดคาปิลลารี (Capillary Tube)

หลอดคาปิลลารี เป็นเครื่องมือวัดความหนืดแบบหลอดคาปิลลารี ซึ่งหาค่าความหนืดได้โดยอาศัยสมการ 2.7 เนื่องจากการสูญเสียพลังงานจลน์ที่ปากทางเข้าและทางออกของหลอดคาปิลลารีสมการที่ 2.7 จะกลายเป็น

$$\mu = \frac{\pi \Delta p r^4 t}{8 q (L + K_1 r)} - \frac{q \rho K^2}{8 \pi t (L + K_1 r)} \quad \dots 2.10$$

โดย

ρ

=

ความหนาแน่นของน้ำมัน

K_1 และ K_2

=

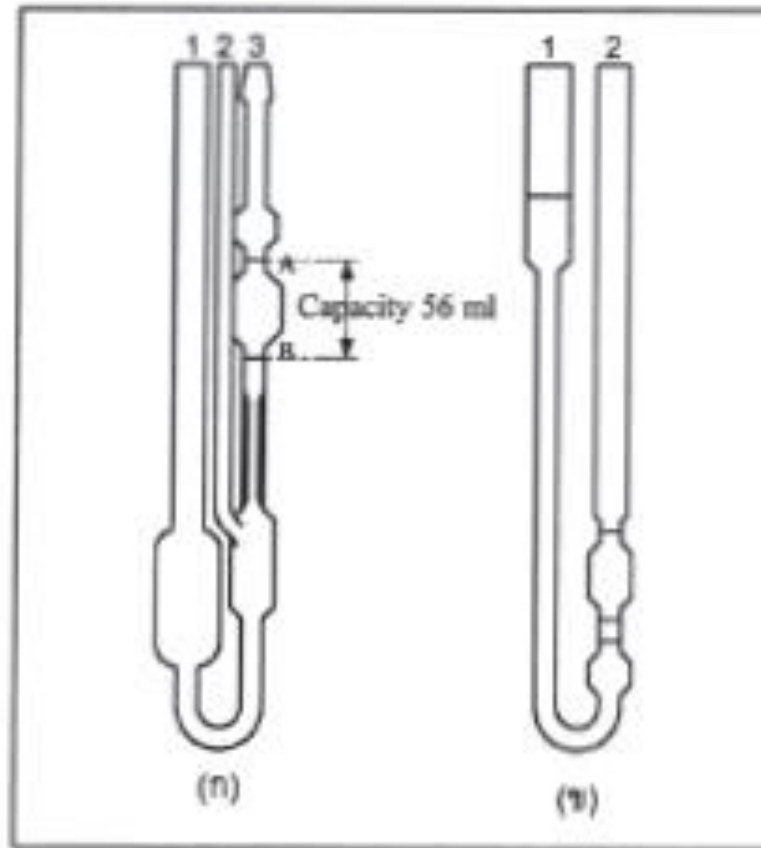
ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของหลอดคาปิลลารีแต่ละอันและในการสร้าง
วิสโคมิเตอร์แบบนี้ จะจงใจสร้างให้ $K_1 r$ มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ L

Δp

ความดันที่อยู่ในรูปความสูง (Hydrostatic head)

การหาความหนืดโดยใช้หลอดคาปิลลารี (Capillary Tube)

ดังรูป



ตัวอย่าง

วิธีทำ การหาความหนืดของน้ำมันชนิดหนึ่งโดยใช้ Saybolt Viscosimeter หาค่า Saybolt Universal Second ได้ 150 วินาที จงหาความหนืดจลน์

$$\text{จากสูตร} \quad \sqrt{\quad} = 0.22t - \frac{180}{t}$$

$$\text{โดย} \quad \sqrt{\quad} = \text{ความหนืดจลน์}$$

$$t = 150 \text{ วินาที}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \sqrt{\quad} = 0.22(150) - \frac{180}{150}$$

$$\sqrt{\quad} = 31.8 \text{ Centi Stoke}$$

ตอบ

