

Fluid Mechanical Engineering

66

นายจิรภัทร สุทิน

นายชนาธิป รัตนนุพงศ์

นายพงศธร ยอดหล้า

นายศิรภัส เต็มศิริรักษ์

6401031611059

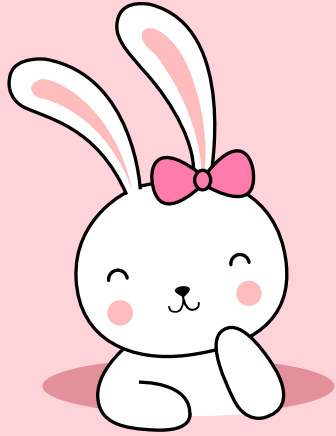
6401031611067

6401031621127

6401031621046

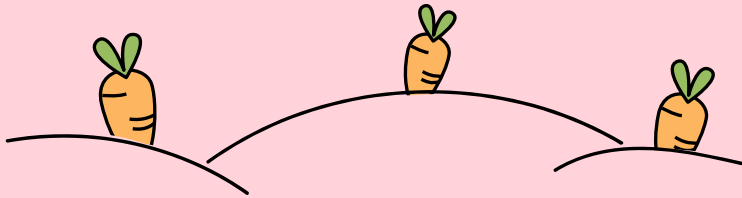
99





FROUDE NUMBER

Fr

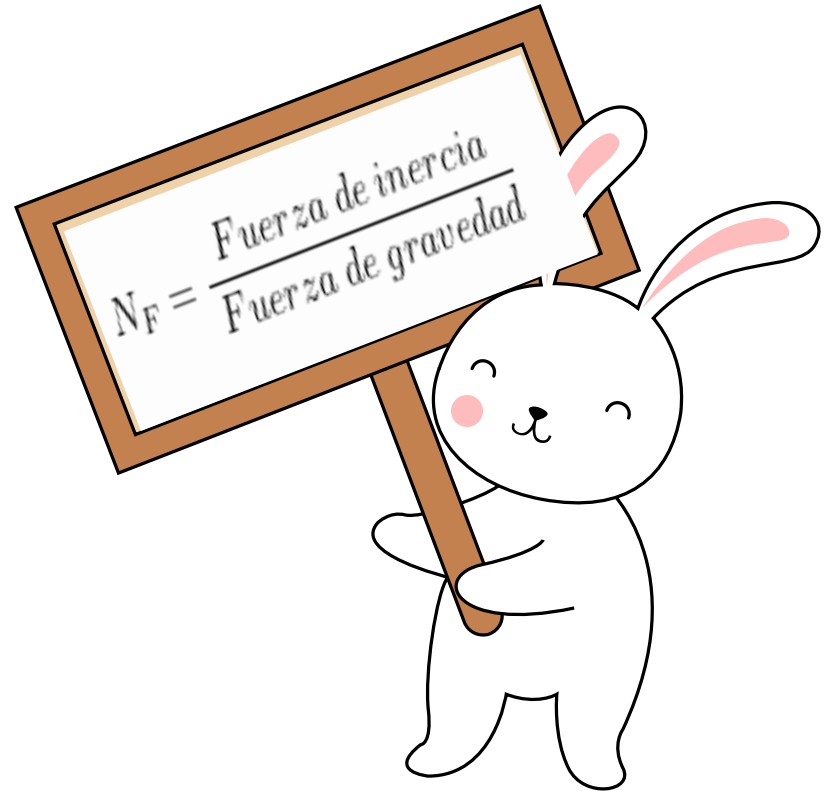


Fr คืออะไร...

66

จำนวน Froude ในไฮโดรลิกแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างกองกำลังเฉื่อยและแรงโน้มถ่วงสำหรับของเหลวที่ โดยที่ N_F เป็นสัญกรณ์สำหรับหมายเลข Froude ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่มีมิติซึ่งตั้งชื่อนี้เพื่อเป็นเกียรติแก่สถาปนิกทหารเรือชาวอังกฤษที่มีชื่อเสียงและวิศวกรไฮดรอลิก William Froude (1810-1879) Froude และลูกชายของเขาทดลองลากแผ่นเรียบผ่านน้ำเพื่อประเมินว่าเรือจะต้านทานคลื่นได้แค่ไหน

99



66

ในการกระทำของคลื่นที่เกิดจากเรือเมื่อแล่นหรือ
กระแสน้ำบนเสาของสะพานจะเกิดแรงเฉื่อยและ
แรงโน้มถ่วง

99



รูปที่ 1. หมายเลข Froude เป็นสิ่งจำเป็นในการระบุลักษณะการไหลของน้ำผ่านช่องทางเปิดเช่นคูน้ำ

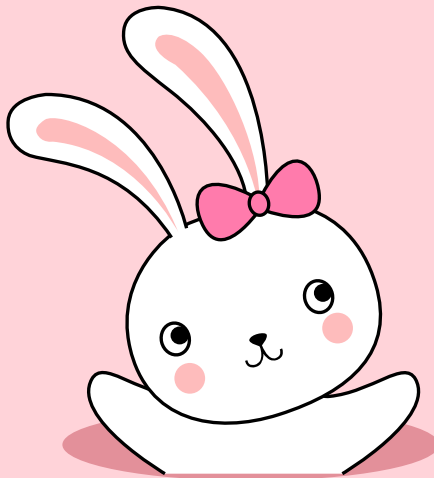
66

หมายเลข Froude มีความสำคัญอย่างยิ่งในการระบุ
ลักษณะการไหลของของไหลในช่องเปิด ท่อหรือช่อง
เปิดคือท่อที่มีพื้นผิวด้านบนเปิดสู่บรรยากาศ
ตัวอย่างมากมายในธรรมชาติในรูปแบบของแม่น้ำ
และลำธาร

99

01 ท่อระบายน้ำและ
ท่อระบายน้ำใน
ถนนและอาคาร
เพื่อระบายน้ำฝน

02 Acequias เพื่อการ
ชลประทาน



03 ท่อน้ำทิ้งและท่อ
ระบายน้ำ

04 ช่องระบายความรู้น
สำหรับเครื่องจักร
อุตสาหกรรม

นี่คือตัวอย่างทั้งหมดของท่อที่เปิดสู่ชั้นบรรยากาศซึ่งต้อง
คำนึงถึงหมายเลข Froude เสมอเมื่อกำหนดลักษณะการไหล

y_h คือความลึกของไฮดรอลิก

g คือค่าของความเร่งของแรงโน้มถ่วง

Y_h

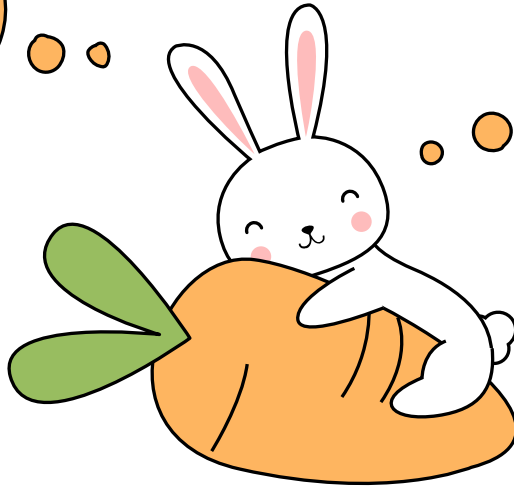
g

V

$$N_F = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

v คือความเร็วการไหลเฉลี่ย

สูตรคำนวณหมายเลข Froude



$$\frac{\rho L^2 v^2}{\rho g L^3} = \frac{v^2}{gL}$$

ผลหารที่ระบุในตอนต้นระหว่างแรงเฉื่อย
และแรงโน้มถ่วงอยู่ในรูปแบบต่อไปนี้ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ของของเหลว:



$$N_F = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

สมการก่อนหน้าหรือรากที่สองคือจำนวน
Froude:

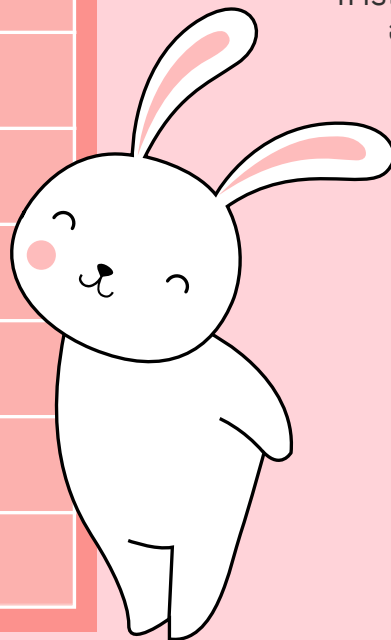
การคำนวณตัวเลข Froude

ประเภทการไหลตามหมายเลข Froude

N_F	< 1 มีการเคลื่อนไหวน้ำหรือผิวน้ำ

N_F	$= 1$ กระแสเรียกว่ากระแสวิกฤต

N_F	> 1 การเคลื่อนไหวน้ำจะดำเนินไปใน
	ระบบการไหลที่รวดเร็ว
	หรือวิกฤตยิ่งยวด



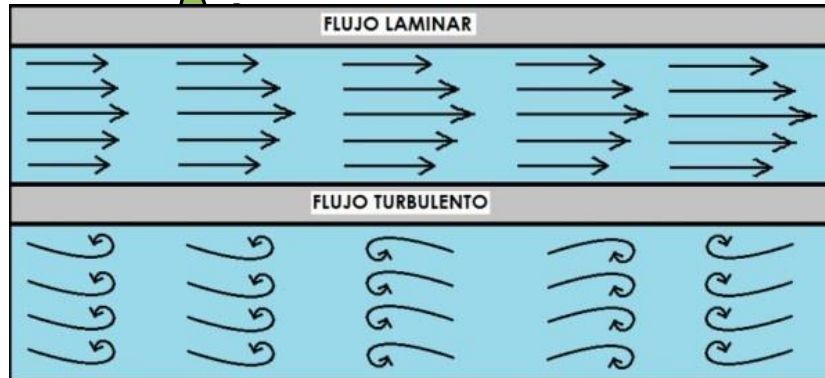
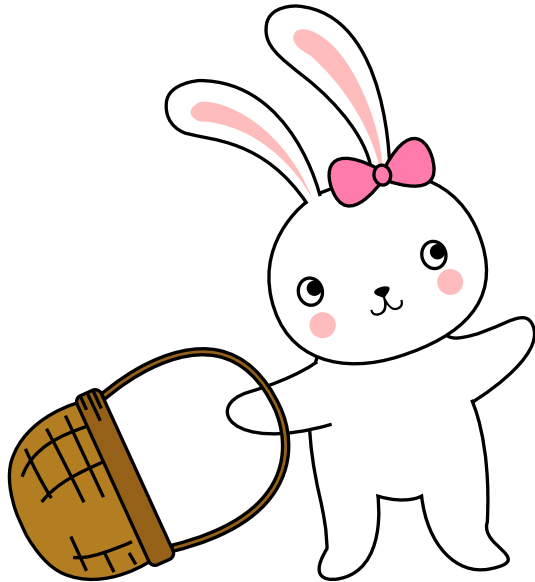
การไหลของของไหลในช่องทางเปิดแบ่ง
ออกเป็นสามระบบตามค่าของ N_F :

หมายเลข Froude และหมายเลข Reynolds

หมายเลขเรย์โนลด์ N_R เป็นอีกหนึ่งปริมาณที่ไม่มีมิติที่สำคัญมากในการวิเคราะห์การไหลของของไหลซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าของไหลมีพฤติกรรมแบบลามินาร์เมื่อใดและเมื่อมีการปั่นป่วน แนวคิดเหล่านี้ใช้ได้กับทั้งการไหลในท่อปิดและในช่องเปิด

การไหลเป็นแบบลามินาร์เมื่อของไหลเคลื่อนที่ได้อย่างราบรื่นและเป็นระเบียบในชั้นที่ไม่ผสมกัน ในทางกลับกันกระแสน้ำที่ไหลเชี่ยวมีลักษณะวุ่นวายและไม่เป็นระเบียบ

วิธีหนึ่งในการตรวจสอบว่าการไหลของน้ำไหลสลับหรือไหลเชี่ยวคือการฉีดหมึกเข้าไป หากการไหลเป็นแบบลามินาร์กระแสน้ำจะไหลแยกจากสายน้ำ แต่ถ้าเป็นการไหลแบบไหลเชี่ยวหมึกจะผสมและกระจายลงไปในน้ำอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2. การไหลแบบลามินาร์และการไหลแบบปั่นป่วน

ผลกระทบของหมายเลข Froude

กับจำนวน Reynolds เรามี



ลามิเนต subcritical:
 $N_R < 500$ และ $N_F < 1$



Subcritical turbulent:
 $N_R > 2000$ และ $N_F < 1$

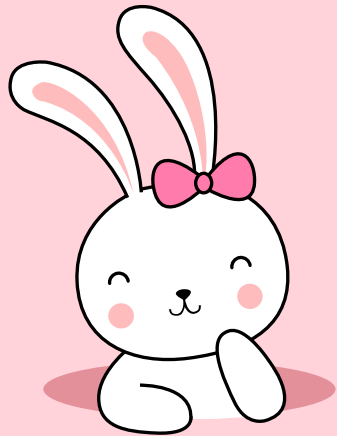


การกลิ้งที่ยอดเยื้อง:
 $N_R < 500$ และ $N_F > 1$



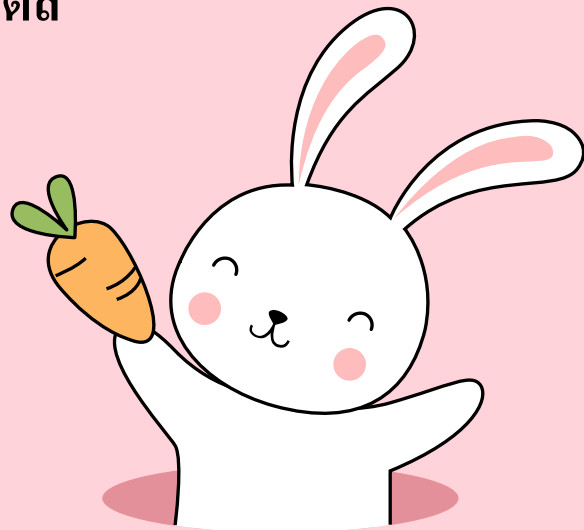
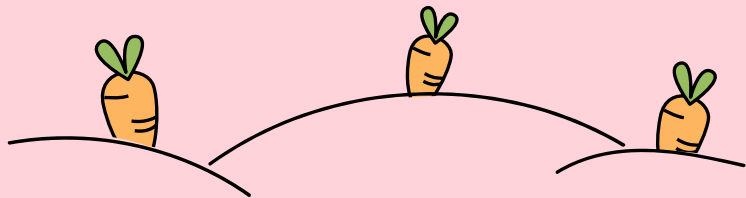
Supercritical ปั่นป่วน:
 $N_R > 2000$ และ $N_F > 1$

เมื่อกระแสน้ำเกิดขึ้นในพื้นที่การเปลี่ยนแปลงการกำหนดลักษณะ
ของกระแสน้ำจะทำได้ยากกว่าเนื่องจากความไม่เสถียร



Reynolds number

เลขเรย์โนลด์ส



เลขเรย์โนลด์ส (Reynolds number) หรือ ตัวย่อที่นิยมใช้คือ Re

66

เลขที่ใช้ช่วยบอกลักษณะการไหลของของไหล (fluid) ชนิดต่างๆ บอก
คุณลักษณะความเสถียรของของไหล โดยมาจากอัตราส่วนของแรงเฉื่อย
ต่อแรงของความหนืด โดยที่เลขเรย์โนลด์ส มีค่าน้อยๆ

ซึ่งมี 2 ลักษณะ คือ 1.การไหลแบบราบเรียบ (laminar flow)

2.การไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow)

99



$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

ความเร็วเฉลี่ย (average
velocity) (m/s)

เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในของ
ท่อ (inside pipe diameter) (m)

v

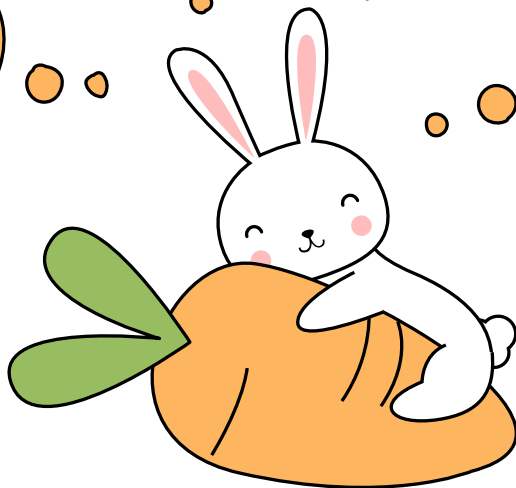
D

ρ

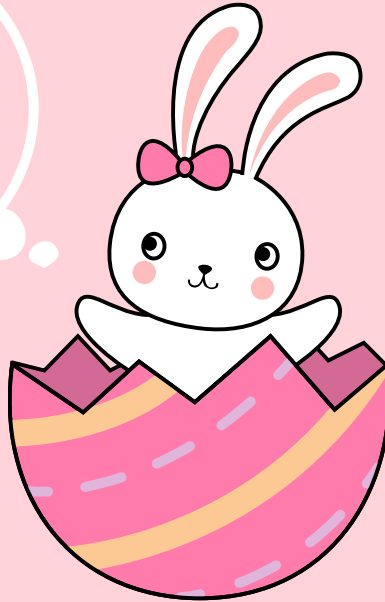
μ

ความหนืดสัมบูรณ์ (absolute
viscosity) (Pa.s)

ความหนาแน่นของของเหลว (liquid
density) ของของเหลว (kg/m^3)



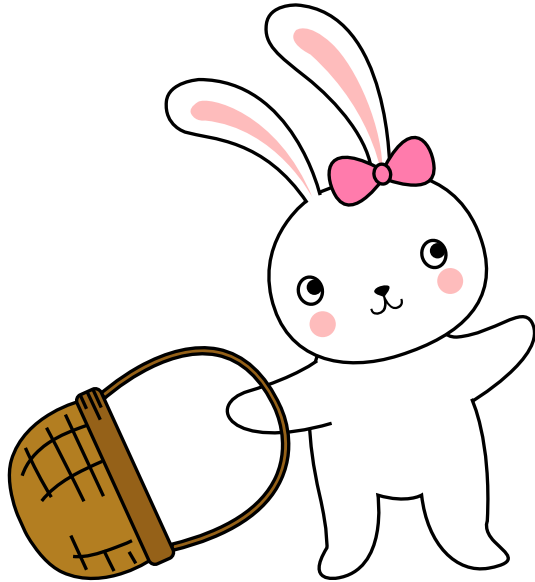
เป็นตัวบ่งชี้ถึงอัตราการไหลที่การไหลเปลี่ยนจากการไหลแบบลามินาร์ (laminar flow) ไปเป็นการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ (turbulent flow) สำหรับของไหลในท่อ



ถ้าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์วิกฤตมากกว่า 2,300 การไหลจะเปลี่ยนจากการไหลแบบลามินาร์ไปเป็นการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์

Critical Reynolds number

ประโยชน์ของ Reynolds number



มีประโยชน์ต่อการออกแบบเครื่องจักรอุปกรณ์แปรรูปใน
อุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะการแปรรูปอาหารเหลวซึ่งมีการ
ไหลในท่อ



- เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat
exchanger)



- การพาสเจอร์ไรซ์แบบต่อเนื่องในท่อ
(in-line pasteurization)



Turbulent Flow

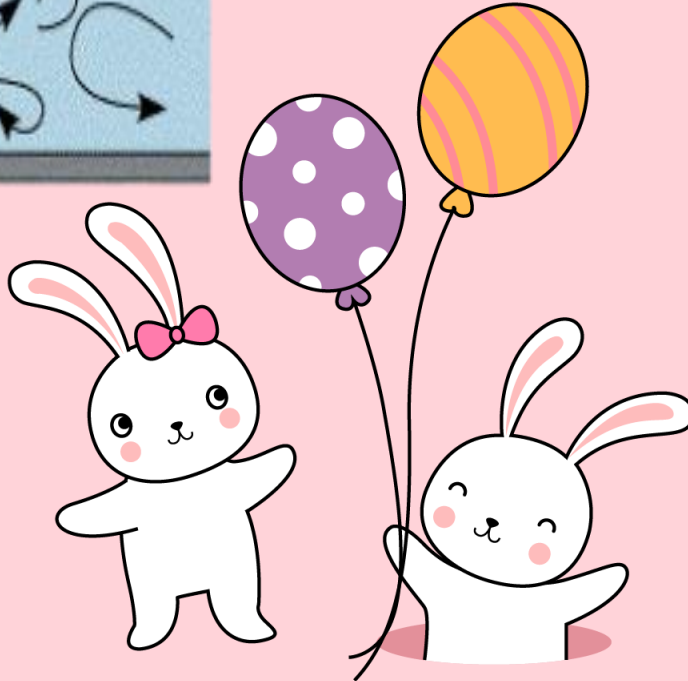
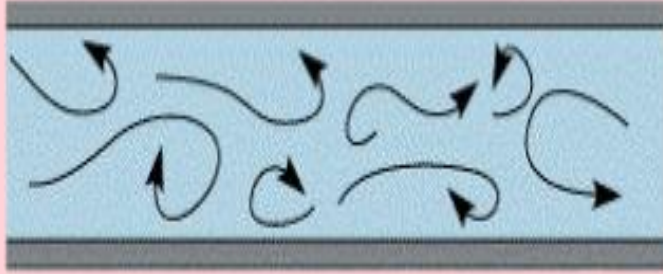
การไหลแบบปั่นป่วน

Turbulent Flow

โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีค่าความหนืด (viscosity) ต่ำและไหลด้วยความเร็วสูง หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ของไหลไหลผ่านมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไหลที่ไหลภายในท่อ รูปแบบการไหลของไหลมีทิศทางและความเร็วที่ไม่แน่นอน และมีการผสมกันระหว่างชั้นของไหล



Turbulent flow



ลักษณะการไหลของของไหลใช้ชนิดของ
เครื่องมือวัด ให้เหมาะสมกับการใช้งาน
สามารถพิจารณาได้จากค่าตัวเลขเรย์โนลด์
ซึ่งเป็นตัวเลขที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
สมบัติของของไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตาม
อุณหภูมิ (temperature) และความดัน
(pressure)

การไหลแบบปั่นป่วนจะมีตัวเลขเรย์โนลด์สูง
โดยมีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์วิกฤตเป็นตัวบ่งบอก
ถึงการเปลี่ยน ลักษณะการไหลของของไหลจาก
แบบราบเรียบ (laminar flow) ไปเป็นการไหล
แบบปั่นป่วน (turbulent flow) สำหรับของไหล
ที่ไหลในท่อมี่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์วิกฤตเท่ากับ
2,300

ถ้า Re มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2000 ($Re \leq 2000$) ของไหลจะมีลักษณะการไหลแบบ
ราบเรียบ (laminar flow)

ถ้า Re มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4000 ($Re \geq 4000$) ของไหลจะมีลักษณะการไหลแบบ
ปั่นป่วน (turbulent flow)

Laminar



Flow

การไหลแบบราบเรียบ

รูปแบบการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ ไม่มีการผสมกันระหว่างชั้นของไหล โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นกับของไหลที่มีความหนืด (viscosity) สูงและไหลด้วยความเร็วต่ำ หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ของไหลไหลผ่านมีขนาดใหญ่มาก ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไหลที่ไหลภายในท่อ

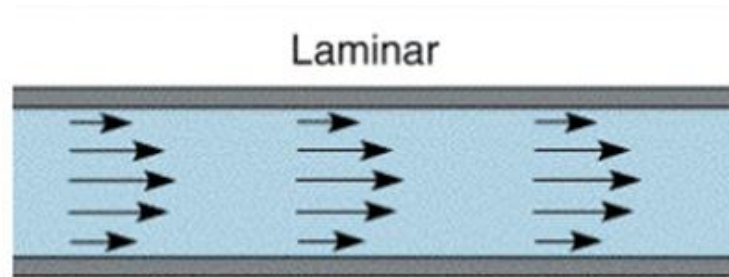
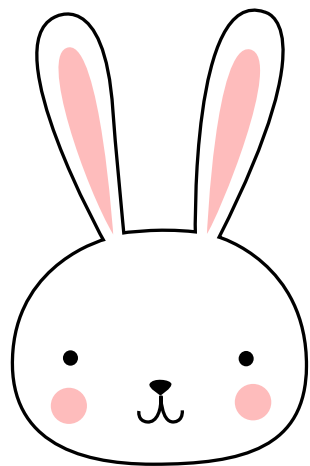
ลักษณะการไหลของของไหล

มีความสำคัญต่อการเลือกใช้ชนิดของเครื่องมือวัด (instrument) ให้เหมาะสมกับการใช้งานสามารถพิจารณาได้จากค่าตัวเลขเรย์โนลด์ ซึ่งเป็นตัวเลขที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของของไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ (temperature) และความดัน (pressure) ได้แก่ ความหนาแน่น (ρ) และความหนืด (μ) ความเร็วของของไหล (v) ที่ไหลภายในท่อ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (D)

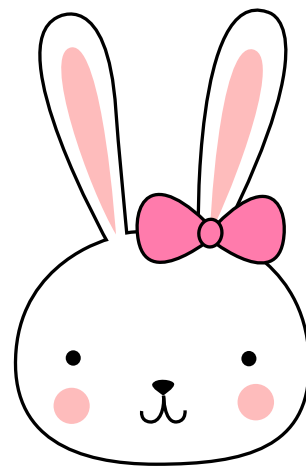
ของไหลที่ไหลภายในท่อที่มีการไหลแบบราบเรียบจะมีตัวเลขเรย์โนลด์ต่ำ โดยมีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์วิกฤตเป็นตัวบ่งบอกถึงการเปลี่ยนลักษณะการไหลของของไหลจากแบบราบเรียบ (laminar flow) ไปเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) สำหรับของไหลที่ไหลในท่อกำหนดค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์วิกฤตเท่ากับ 2,300

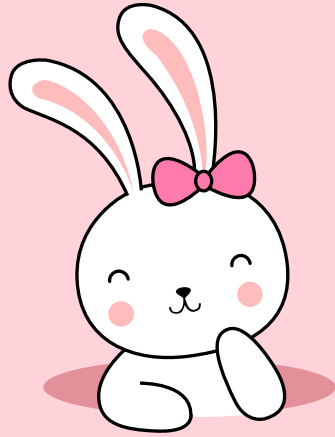
ถ้า Re มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 ($Re \leq 2,000$) ของไหลจะมีลักษณะการไหลแบบราบเรียบ (laminar flow)

ถ้า Re มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4,000 ($Re \geq 4,000$) ของไหลจะมีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow)

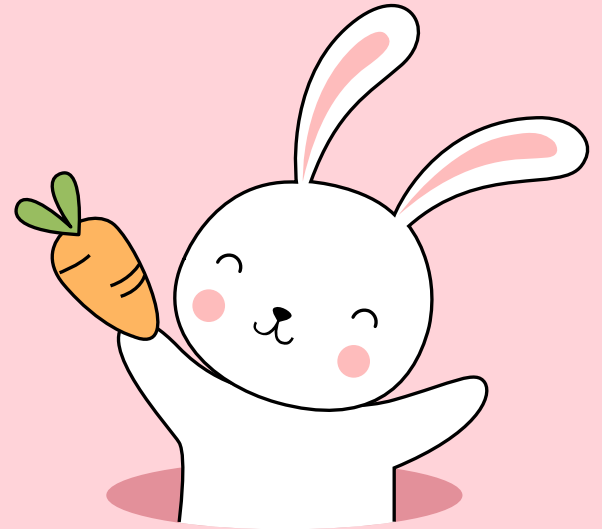
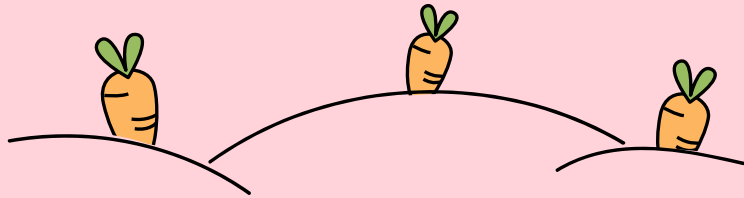


ลักษณะการไหลของของไหล





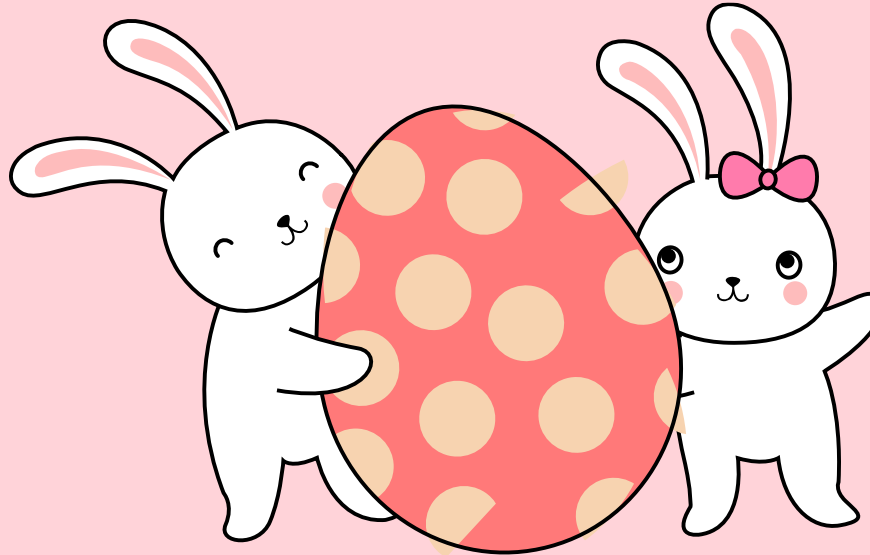
Introduction to Compressible Flow



การไหลแบบอัดตัวได้ (compressible flow) หมายถึงการไหลของของไหลที่ ความหนาแน่นของของไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดัน มี Flow speed < Sound speed (Incompressible flow, density $\rho = \text{constant}$)

- Compressible ΔP significant

66

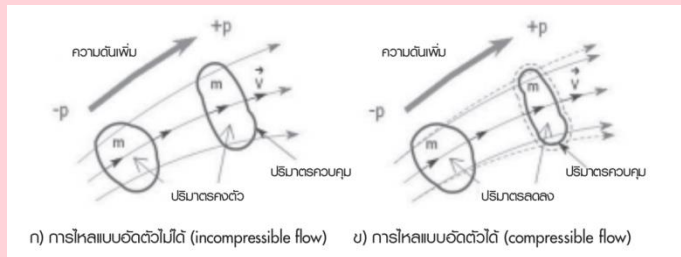


What is compressible and incompressible flow?

การไหลแบบอัดได้และอัดไม่ได้คืออะไร?



การไหลแบบอัดได้และอัดไม่ได้คืออะไร? ความแตกต่างระหว่างการไหลที่อัดตัวได้และอัดตัวไม่ได้ในไดนามิกส์ของของไหลนั้นมีแนวคิดง่ายๆ คือ ของไหลที่อัดตัวได้อาจพบกับการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นระหว่างการไหล ในขณะที่ของไหลที่อัดตัวไม่ได้จะไม่พบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว



When is a flow compressible

การไหลของของไหลที่อัดไม่ได้จัดเป็นการไหล แบบอัดตัวไม่ได้ ส่วนการไหลของของไหลที่อัดได้อาจเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ หรือการไหลแบบอัดตัวได้ก็ได้ เมื่อไหร่จึงจะสามารถพิจารณาการไหล (ของแก๊ส หรือ อากาศ) ว่าเป็นการไหลแบบอัดตัวได้ การพิจารณาว่าการไหลจะเป็นการไหลแบบอัด ตัวได้ ต้องดูที่ตัวเลขแมช (Mach number, M) $M < 0.3$ เป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ $M \geq 0.3$ เป็นการไหลแบบอัดตัวได้ อากาศที่มีความเร็วเทียบกับวัตถุน้อยกว่า 100 m/s หรือวัตถุเคลื่อนที่ในอากาศด้วยความเร็วต่ำกว่า 100 m/s จะมี $M < 0.3$ จัดเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ และ อากาศที่มีความเร็วเทียบกับวัตถุตั้งแต่ 100 m/s ขึ้นไป จะมี $M > 0.3$ จัดเป็นการไหลแบบอัดตัวได้ ดังนั้นเช่นการไหลของอากาศผ่านเครื่องบินขณะที่ เครื่องบินกำลังบินจึงเป็นการไหลแบบอัดตัวได้



Consequences for analysis

ผลที่ตามมาสำหรับการวิเคราะห์

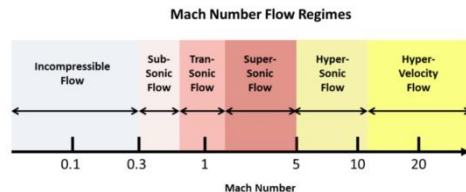
1 การไหลที่ไม่สามารถบีบอัดได้

- ตัวแปรคือ V , p Equations are conservation of mass, momentum

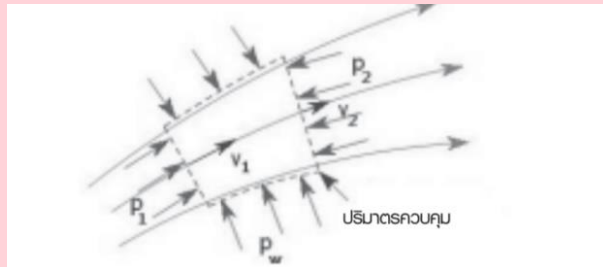
2 การไหลแบบอัดได้

- ตัวแปรพิเศษคือ p , T

- equations are conservation of energy and equations of state \neq ค่าคงที่



สมการเส้นตัมเชิงเส้น



การไหลแบบสม่ำเสมอ ของไหลสามารถส่งแรงกระทำไปบนสิ่งที่อยู่รอบตัวได้ จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน แรง = อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} m\vec{v}$$

สมการโมเมนตัมเชิงเส้นในแนวแกน x

$$(p_1 A_1)_x - (p_2 A_2)_x + F_x = \dot{m} (v_2 - v_1)_x$$



Thank You

