กลศาสตร์ของของไหล

ความนำ

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า เราอาจแบ่งสสารออกเป็น 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในบางแห่งจะนับผลึกเหลว (liquid crystal) พลาสมา (แก๊สในสภาพที่เป็นไอออน) และของหลอมเหลว (molten salt state) เป็นสถานะเพิ่มเติมด้วย

แก๊สเป็นสถานะที่ง่ายที่สุดที่เราสามารถอธิบายในระดับอะตอมได้เป็นอย่างดี ของแข็งมีความยุ่งยากขึ้นบ้าง แต่นักวิทยาศาสตร์ก็สามารถเอาชนะความยากลำบากเหล่านั้นได้ ในขณะที่ของเหลวยังเป็นปัญหาที่น่าสนใจที่นักวิทยาศาสตร์ต้องใช้ความพยายามเพื่อจะเข้าใจให้ดียิ่งขึ้น แม้ในปัจจุบัน ของเหลว แก๊ส พลาสมา ของหลอมเหลว ไหลได้ภายใต้แรงภายนอกที่มากระทำ บางทีเราเรียกรวมๆ กันว่า เป็น ของไหล (fluids) ในเบื้องต้นนี้เราจะได้ศึกษาสภาพของของแข็งก่อน ตามด้วยของเหลว ส่วนแก๊สจะได้กล่าวถึงในเรื่องของเทอร์โมไดนามิกส์

สมบัติเชิงกลของสาร

**ของแข็ง**

นิยามสำหรับของแข็ง คือ [สถานะ](http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%AA%E0%B8%96%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%B0_(%E0%B8%AA%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3)) ของ [สสาร](http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%AA%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3) ซึ่งมีลักษณะเฉพาะ ที่สามารถทนและต้านทานต่อ[การเสียรูปทรง](http://th.wikipedia.org/w/index.php?title=%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B8%9B%E0%B8%97%E0%B8%A3%E0%B8%87&action=edit&redlink=1) และการเปลี่ยนแปลงใน[ปริมาตร](http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%A3)ของตัวมันเอง มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคองค์ประกอบใกล้ชิดกัน แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคมีค่ามาก อนุภาคของแข็งจึงเคลื่อนที่ไม่ได้ แต่จะสั่นไปมาได้เล็กน้อย เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลน้อยมาก ของแข็งจึงไหลไม่ได้เหมือนของเหลว และอัดไม่ได้เหมือนแก๊ส ของแข็งส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นผลึก (crystalline) มีการจัดเรียง มีรูปทรงเรขาคณิตที่แน่นอน

สมบัติทั่วไปของของแข็ง

1.รูปร่างแน่นอน มีรูปทรงเรขาคณิต(geometry) เฉพาะตัว ปริมาตรเปลี่ยนน้อยมากเมื่อความดันเปลี่ยน

2.มีสภาพแข็งแกร่งเนื่องจากอนุภาคของ[อะตอม](http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%A1) หรือ [โมเลกุล](http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%82%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%81%E0%B8%B8%E0%B8%A5) ที่ประกอบกันเป็นของแข็ง อยู่ใกล้ชิดกันมาก เคลื่อนที่ไม่ได้แต่สั่นไหวได้

3.มีแรงดึงดูดระหว่างอะตอม โมเลกุลหรือไอออน มากกว่าในแก๊สและของเหลว

4.ของแข็งบางชนิดเช่น แนพธาลีน การบูร พิมเสน และไอโอดีน เปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นไอ โดยไม่ผ่านการเป้นของเหลว เรียกว่าการระเหิด(sublimation)

5.ถ้ามีแรงที่มากพอมากระทำ คุณสมบัติหรือองค์ประกอบของอะตอมภายในจะถูกทำลาย และเป็นเหตุให้เสียรูปทรงอย่างถาวร

6.ของแข็งบางชนิดมี [พลังงานความร้อน](http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%99) (thermal energy) อะตอมของมันจึงมีการสั่นไหว แต่อย่างไรก็ดีการเคลื่อนไหวนี้ก็เกิดขึ้นเล็กน้อยและเร็วมากจนกระทั่งไม่สามารถสังเกตได้ด้วยวิธีธรรมดา

7.เมื่อให้พลังงานความร้อน ทำให้โมเลกุลหรืออะตอมของของแข็งมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นไหวเพียงพอที่จะเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ทำให้โครงสร้างของของแข็งที่เป็นระเบียบสลายตัวลงเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว

ของแข็งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1.ผลึกของแข็ง กล่าวคือ ของแข็งที่มีอนุภาคหรืออะตอมภายในมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและมีรูปทรงทางเรขาคณิตตามระบบผลึกแตกต่างกันออกไป เช่น ผลึกเกลือแกง น้ำตาลทราย กำมะถัน ดินประสิว

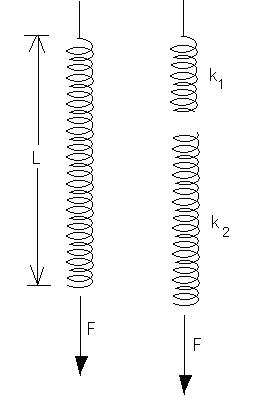
2.ของแข็งอสัณฐาน กล่าวคือ ของแข็งที่มีอนุภาคหรืออะตอมภายในมีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ และไม่มีรูปทรงเรขาคณิตที่แน่นอน เช่น แก้ว ยาง พลาสติก

สภาพยืดหยุ่นของของแข็ง

สภาพยืดหยุ่น(Elasticity) เป็นสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุที่มีการเปลี่ยนรูปร่าง เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ และสามารถคืนตัวกลับสู่รูปร่างเดิมได้เมื่อแรงที่มากระทำหมดไป เช่น สภาพยืดหยุ่นของสปริง ฟองน้ำ

สภาพพลาสติก (Plasticity) เป็นสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุมีการเปลี่ยนรูปร่างไปอย่างถาวร โดยผิววัสดุไม่มีการฉีกขาดหรือแตกหักเมื่อมีแรงมากระทำ เช่น ดินน้ำมัน

ขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่นของของแข็ง

ถ้าออกแรงดึงสปริงให้ยืดออก แล้วเราจะพบว่าความยาวที่สปริงยืดออกแปรผันตรงกับขนาดของแรงดึง แต่ถ้าเพิ่มแรงดึงให้สปริงยืดออกไปเรื่อยๆ จนถึงระยะหนึ่งแล้ว จะพบว่า ความยาวที่สปริงยืดออกไม่แปรผันตรงกับแรงดึง ซึ่งเป็นไปตามกราฟดังนี้

ขนาดของแรงดึง (F)

c

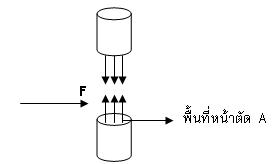
b (ขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่น)

a (ขีดจำกัดการแปรผันตรง)

0 ระยะที่สปริงยืดออก (x)

ความเค้น

ขณะที่ของแข็งได้รับแรงกระทำจากภายนอก ภายในของแข็งจะเกิดแรงระหว่างโมเลกุลเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติ เพื่อต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างอันเกิดจากแรงภายนอกมากระทำ แรงยึดระหว่างโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นนี้เรียกว่า แรงเค้น

อัตราส่วนระหว่างแรงเค้นต่อพื้นที่หน้าตัดของวัตถุเรียกว่า ความเค้น ใช้สัญลักษณ์  *σ* (sigma)

จากนิยาม จะได้ว่า  ……….1

เมื่อ *σ* คือ ความเค้น (N/m2) หรือ (Pa)

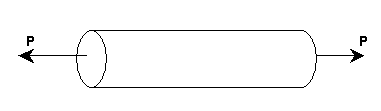
F คือ แรงเค้น (N)

A คือ พื้นที่ที่แรงเค้นกระทำ (m2)

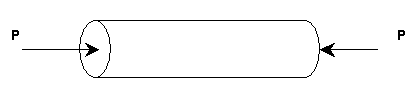
ความแข็งแรง (Strength)

ความแข็งแรงเป็นคุณสมบัติของวัสดุที่สามารถต้านทานแรงที่มากระทำจากภายนอก (External Force) ที่พยายามจะทำให้รูปร่างและอะตอมต่าง ๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นโลหะนั้นเปลี่ยนไปอาจจะถูกอัดหรือดึงให้เคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิมซึ่งจะทำให้เกิดแรงภายในเนื้อวัสดุ (Internal Force) ที่พยายามต้านแรงจากภายนอกเอาไว้เพื่อให้อะตอมของวัสดุคงรูปอยู่ในตำแหน่งเดิม แรงภายในที่พยายามต้านทางการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) นี้เราเรียกว่า Stress ซึ่งวัดได้จากแรงต่อ 1 หน่วยพื้นที่ ลักษณะของ Stress ที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามลักษณะของแรงกระทำจากภายนอก ดังนี้

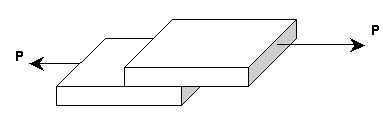
**1. ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress)** คือความเค้นที่เกิดจากแรงดึงซึ่งพยายามจะดึงวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน



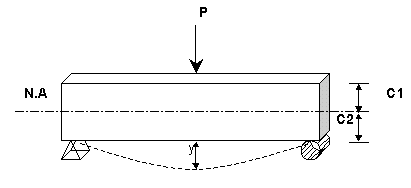
**2.  ความเค้นแรงอัด (Comperssive Stress)** คือความเค้นที่เกิดจากแรงอัด ซึ่งพยายามจะกดเนื้อวัสดุให้อัดแน่นติดกันหรือสั้นลง



**3. ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress)** คือความเค้นที่เกิดจากแรงเฉือนซึ่งพยายามจะทำให้เนื้อวัสดุเลื่อนผ่านกันหรือฉีกขาด



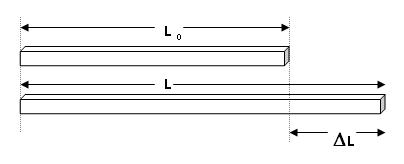
**4. ความเค้นแรงดัด (Bending Stress)** คือความเค้นที่เกิดจากแรงดัดซึ่ง พยายามจะทำให้วัสดุโก่งงอ



**ความเครียด**

เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำกับวัตถุจะทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป การเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุนี้อาจจะเป็นการเปลี่ยนความยาว ปริมาตรหรือบิดก็ได้

อัตราส่วนระหว่างขนาดรูปร่างที่เปลี่ยนไปกับขนาดรูปร่างเดิมนี้เรียกว่า ความเครียด ใช้สัญลักษณ์ ε (epsilon)

จากนิยาม จะได้ว่า  ……….2

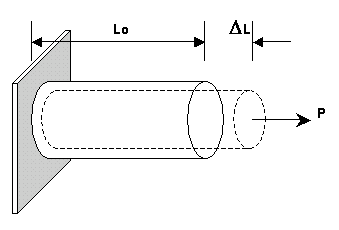
*เมื่อ* ε  *คือ ความเครียดตามยาว (ไม่มีหน่วย)*

∆L *คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป* (m)

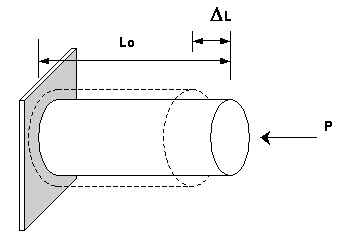
L0 *คือ ความยาวเดิม* (m)

กล่าวคือ ความเครียดจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำกับวัสดุแล้วทำให้ส่วนใดส่วนหนึ่งของวัสดุเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างไปจากเดิมซึ่งแบ่งตามลักษณะของแรงที่มากระทำได้ 3 ลักษณะ คือ

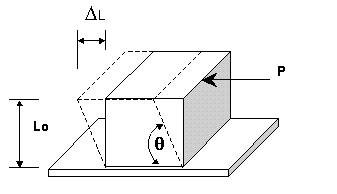
**1. ความเครียดแรงดึง (Tensil Strain)**



**2. ความเครียดแรงอัด (Compressive Strain)**



**3. ความเครียดแรงเฉือน (Shear Strain)**



มอดูลัสของยัง

คือ อัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดตามยาวของวัตถุชนิดหนึ่งๆ มีค่าคงที่ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ Y

จากนิยาม จะได้ว่า

……….3

**ตัวอย่างที่ 1** ลวดโลหะยาว 10 เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 0.05 ตารางเซนติเมตร เมื่อถ่วงด้วยน้ำหนัก 10,000 นิวตัน จะยืดออกไป 10 เซนติเมตร โลหะนี้มีค่ามอดูลัสของยังเท่าใด

วิธีทำ จากสูตร   
 ความเค้น http://www.sripatum.ac.th/online/physics5/images/answ01_htm_eqn1.gif

ความเครียด http://www.sripatum.ac.th/online/physics5/strain.gif

มอดูลัสของยัง Y = ความเค้น = F/A  
 ความเครียด ΔL /L0

**การบ้าน**  แขวนมวล 400 กิโลกรัม กับเส้นลวดโลหะชนิดหนึ่งยาว 10 เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 2 x 10-4 ตารางเมตร ถ้าค่ามอดูลัสของยังของเส้นลวดเป็น 2 x 1011 นิวตัน/เมตร 2 ลวดจะยืดออกเป็นระยะกี่เซนติเมตร

วิธีทำ

**ของเหลว**

**สมบัติทั่วไปของของเหลว**

1. ไหลได้เหมือนแก๊ส

2. เคลื่อนที่ไม่เป็นระเบียบ ชนกันตลอดเวลา แต่มีความอิสระน้อยกว่าแก๊ส

3. มีแรงดึงดูดกันมากกว่าแก๊ส ทำให้มีปริมาตรแน่นอนกว่าแก๊สแต่น้อยกว่าของแข็งและจะมีรูปร่างเป็นไปตามภาชนะที่บรรจุอยู่

4. เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง จะมีการหดตัวและขยายตัวได้เล็กน้อย

5. จะมีสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง(isotropic) เช่น การนำไฟฟ้า ดรรชนีหักเห เนื่องจากภายในของเหลวมีช่องว่างระหว่างโมเลกุล

6. ไม่สามารถถูกบีบอัดให้มีปริมาตรเล็กลงได้เหมือนของแข็ง

**ความดัน และแรงดันในของเหลว**

ในเรื่องของความดัน และแรงดันในของเหลวซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาถึงหลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนนำความรู้ไปใช้แก้โจทย์ปัญหา ส่วนเรื่องของการระเหย การเดือด แรงตึงผิวนั้น นักเรียนสามารถหาอ่านเองได้ตามคู่มือทั่วไป

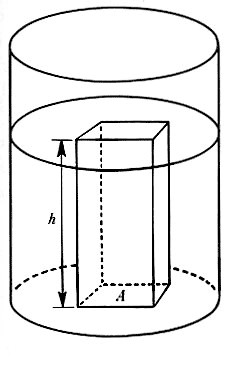
**ความดัน** (pressure) คือ แรงที่กระทำตั้งฉากบนพื้นที่ 1 ตารางหน่วย หรือกล่าวได้ว่า ความดันในของเหลว ก็คือ แรงในของเหลวที่กระทำตั้งฉากต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยภาชนะ

*…………(4)*

*เมื่อ* P *คือ ความดันที่เกิดจากของเหลวกระทำบนพื้นที่* A *หน่วย* N/m2 *หรือ ปาสคาล* (Pa)

F *คือ แรงที่ของเหลว(หรือของแข็ง)กระทำในแนวตั้งฉากบนพื้นที่* A *หน่วย* N

A *คือ พื้นที่ผนังภาชนะ หน่วย* m2

***ความดันเกจ***(gauge pressure) *คือ ความดันอันเนื่องมาจากน้ำหนักของของเหลวในภาชนะ เขียนสัญลักษณ์แทนด้วย* Pg *ความดันของของเหลวที่จุดใดๆ บนพื้นที่* A *ซึ่งอยู่ลึกจากผิวหน้าของเหลวเป็นระยะทาง* h *คำนวณได้จากสมการ*

*…………(5)*

*เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว หน่วย (kg/m3)*

h *คือ ความลึกจากผิวของของเหลว หน่วย m*

*g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.8 m/s2)*

*สำหรับของเหลวชนิดหนึ่งๆ ความหนาแน่น ρ จะคงที่และค่า g ก็คงที่ ดังนั้น ความดัน* P *จึงแปรผันตรงกับความลึก* h *อย่างเดียว ดังนั้นหากความลึกเท่ากัน ความดันย่อมเท่ากันอย่างแน่นอน*

***ตัวอย่าง*** *พิจารณาภาชนะ 3 ใบ*

P1

P2

P3

สรุปคือ ภาชนะทั้ง 3 หากบรรจุของเหลวชนิดเดียวกันสูงเท่ากัน ความดันที่กดภาชนะทั้ง 3 ใบจะเท่ากัน เพราะความดันจะขึ้นกับความลึก h อย่างเดียวไม่เกี่ยวกับรูปร่างภาชนะ

***ตัวอย่าง*** ต้องใช้ความดันอย่างน้อยกี่กิโลปาสคาล สำหรับระบบประปาที่ต้องส่งน้ำขึ้นไปยังถังบนถังเก็บสูงจากพื้นดิน 50 เมตร (กำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1000 kg/m3)

***วิธีทำ***  จากสมการ

แทนค่าจะได้

จะต้องใช้แรงดันอย่างน้อย 500 กิโลปาสคาล จึงจะส่งน้ำขึ้นไปยังถังเก็บน้ำที่สูง 50 เมตรได้

***ความดันสัมบูรณ์ของของเหลว***(absolute pressure)

*ความดันของของเหลวที่คำนวณจากสมการ P = ρgh เป็นความดันเนื่องจากน้ำหนักของของเหลวในภาชนะ ซึ่งเรียกว่า ความดันเกจ แต่เนื่องจากรอบๆ ตัวเราหรือสิ่งต่างๆ บนพื้นโลกมีบรรยากาศห่อหุ้ม ดังนั้น ความดันของของเหลวที่ระดับความลึกใดๆ จึงต้องมีความดันบรรยากาศเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเสมอ ซึ่ง* ผลรวมของความดันเกจกับความดันบรรยากาศ *เรียกว่า* ***ความดันสัมบูรณ์*** *เขียนเป็นสมการดังนี้*

……………..(6)

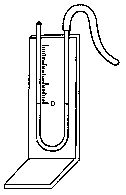
เมื่อ P คือ ความดันสัมบูรณ์

Pa คือ ความดันบรรยากาศ (1.013 x 105 N/m2)

Pg คือ ความดันเกจ

**เครื่องมือวัดความดัน**

แมนอมิเตอร์ (manometer) เป็นอุปกรณ์วัดผลต่างความดันอย่างง่าย ประกอบด้วยท่อรูปตัว U ที่มีของเหลวอยู่ภายใน  ระดับของเหลวในขาสองข้างที่ต่างกันวัดผลต่างความดันบนผิวของเหลวสองข้างของแมนอมิเตอร์ *ในสภาพวะปกติแมนอมิเตอร์มีระดับของเหลวในขาหลอดทั้งสองข้างอยู่ในระดับเดียวกัน เนื่องจากความดันบรรยากาศ*(Pa) *กดเท่ากัน ถ้าออกแรงเป่าลมเข้าทางปลายสายยางด้านที่ใช้วัดความดัน แล้วระดับของเหลวในขาหลอดทั้งสองข้างจะแตกต่างกัน*



**หน่วยความดัน**

1 ปาสคาล = 1 N/m2

1 บาร์ = 105 ปาสคาล

1 บรรยากาศ = 1.01 บาร์ = 1.01 x 105 ปาสคาล

แมนอมิเตอร์ (manometer)

**ตัวอย่าง** หลอดแก้วรูปตัวยู บรรจุน้ำ และใส่น้ำมันพืชซึ่งไม่ละลายน้ำและมีความหนาแน่น 0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ด้านขวาสูง 12 เซนติเมตร ระดับผิวของน้ำด้านซ้ายมือจะต่ำกว่าระดับผิวบนของน้ำมันด้านขวามือเท่าใด

**วิธีทำ**

**แรงดันของน้ำเหนือเขื่อน**

การสร้างเขื่อนจำเป็นต้องคำนวณหาปริมาณที่จะเก็บกักไว้เหนือเขื่อนและปริมาณน้ำใต้เขื่อนว่ามีความแตกต่างกันแค่ไหน ถ้าปริมาณน้ำแตกต่างกันมากจนเกินไปก็จำเป็นที่จะต้องระบายน้ำออก มิฉะนั้นอาจจะเกิดความเสียหายแก่ตัวเขื่อนได้ การคำนวณแรงกระทำของน้ำต่อเขื่อนก็คำนวณได้เช่นเดียวกับแรงกระทำของน้ำต่อผนังภาชนะ ถ้าเขื่อนมีความกว้าง L มีความสูงของระดับน้ำ H จากพื้นเขื่อนจะเกิดแรงดัน

เมื่อพิจารณาแรงดันของน้ำที่กระทำต่อตัวเขื่อนที่ยาว L และสูง H ดังภาพ

L

H

F

จะพบว่าแรงดันของน้ำที่กระทำต่อตัวเขื่อน F เป็นไปตามสมการ

………..(7)

กรณีที่ประตูเขื่อนกั้นน้ำมีลักษณะของด้านข้างเอียง

L

F H

θ

จะพบว่าแรงดันของน้ำที่กระทำต่อตัวเขื่อน F เป็นไปตามสมการ

………..(8)

เมื่อ *ρ* คือ ความหนาแน่นของน้ำ

**ตัวอย่าง** สันเขื่อนภูมิพล จังหวัดตากยาว 3 กิโลเมตร สูงจากพื้นดิน 400 เมตร วิศวกรออกแบบการสร้างเขื่อนเพื่อให้รับแรงดันของน้ำไว้ได้ 9.5 x 107 นิวตัน จงคำนวณหาว่า ระดับน้ำเหนือเขื่อนที่เขื่อนจะรับไว้ได้ ควรจะสูงไม่เกินกี่เมตร จึงจะไม่ทำให้เขื่อนแตก กำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำ = 1000 kg/m3

**วิธีทำ** จาก

**กฎของปาสคาล**(Pascal’s Law)

กฎของปาสคาล กล่าวว่า “เมื่อเพิ่มความดัน ณ ตำแหน่งใดๆ ในของเหลวที่อยู่นิ่ง ในภาชนะปิด ความดันที่เพิ่มขึ้นจะถ่ายทอดไปทุกๆ จุดในของเหลวนั้น”

สำหรับกฎของปาสคาลนั้น สามารถอธิบายการทำงานของเครื่องกลที่ช่วยผ่อนแรง นั่นคือ เครื่องอัดไฮดรอลิก(Hydraulic Press) คือ เครื่องผ่อนแรงชนิดหนึ่งที่นำกฎของปาสคาล มาใช้ ซึ่งคำนวณหาการได้เปรียบเชิงกลตามทฤษฎีของเครื่องอัดไฮดรอลิก

ออกแรง 15 N

ลูกสูบเล็กเคลื่อนที่ลง ลูกสูบใหญ่เคลื่อนที่ขึ้น

พื้นที่ (A) 0.1 m2

พื้นที่ (a) 0.01 m2 น้ำมัน

จะเห็นว่า เมื่ออกแรงดัน 15 นิวตันต่อลูกสูบเล็ก จะทำให้เกิดความดันเท่ากับ 1500 นิวตัน ต่อตารางเมตร ความดันนี้จะกระจายไปยังทุกๆจุดของน้ำมัน ทำให้เกิดแรงดันกระทำในทิศตั้งฉากกับภาชนะ ดังภาพ และแรงดันที่กระทำต่อลูกสูบใหญ่มีขนาดเท่ากับ 150 นิวตัน

การได้เปรียบเชิงกลตามทฤษฎีหาได้จาก ………..(9)

เครื่องอัดไฮดรอลิก แบ่งได้เป็น 2 แบบ

1.เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบไม่มีคานโยก

1.1 ระดับของเหลวที่อยู่ภายในมีระดับที่เท่ากัน

W

a A

จากกฎของปาสคาล

*หรือ*

*กำหนดให้ R คือ รัศมีของลูกสูบใหญ่*

*r คือ รัศมีของลูกสูบเล็ก*

*D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบใหญ่*

*d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบเล็ก*

*จะได้*

*ดังนั้น การได้เปรียบเชิงกลทางทฤษฎีของเครื่องอัดไฮดรอลิกหาได้จาก*

………….(10)

1.2ระดับของเหลวที่อยู่ภายในมีระดับต่างกัน

W

h a

A

*จากกฎของปาสคาล*

*จะได้*  ………….(11)

2. *เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบมีคานโยก*

Y

x W

a A

จากกฎของปาสคาล

*หรือ*

*ดังนั้น การได้เปรียบเชิงกลทางทฤษฎีของเครื่องอัดไฮดรอลิกหาได้จาก*

………….(12)

***แรงลอยตัวและหลักของอาร์คีมีดีส***

เมื่อวัตถุจมอยู่ในของเหลว (หรือก๊าช) โดยจมทั้งหมดหรืบางส่วนก็ได้ ของเหลวจะดันทุกๆของผิววัตถุในลักษณะที่ว่าความดันที่ตำแหน่งจมลึกกว่าจะมากกว่า เกิดแรงลัพธ์ของแรงทั้งหมดซึ่งมีทิศพุ่งขึ้นในแนวดิ่ง เรียกว่า แรงลอยตัว (Buoyant force; F*B)*

*หลักของอาร์คีมีดีส กล่าวไว้ว่า วัตถุใดๆ ที่จมอยู่ในของเหลวทั้งก้อนหรือจมอยู่เพียงบางส่วนจะถูกแรงลอยตัวกระทำ และขนาดของแรงลอยตัวนั้นจะเท่ากับขนาดของน้ำหนักของของไหลที่ถูกวัตถุนั้นแทนที่*

*ปริมาตรของวัตถุทั้งก้อน*(V*วัตถุ*) *ความหนาแน่นของวัตถุ*(*ρวัตถุ*)

mg

*ปริมาตรของวัตถุส่วนที่จม*(V*จม*)FB *ความหนาแน่นของของเหลว*(*ρของเหลว*)

*และ*

*จากภาพ กำหนดให้* FB *แทนแรงลอยตัวที่กระทำต่อวัตถุ*

*ρวัตถุ แทนความหนาแน่นของวัตถุ*

*ρของเหลว แทนความหนาแน่นของของเหลว*

V*วัตถุ แทนปริมาตรของวัตถุทั้งก้อน*

V*จม แทนปริมาตรของวัตถุส่วนที่จม*

*จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน*

*จากภาพเมื่อวัตถุอยู่ในภาวะสมดุล จะได้ว่า*

*ดังนั้น* .............(13)

*จากหลักการของอาร์คีมีดีสเขียนเป็นสมการได้ว่า*

*ขนาดของแรงลอยตัวนั้นจะเท่ากับขนาดของน้ำหนักของของไหลที่ถูกวัตถุนั้นแทนที่*

…………….(14)

*นำ* (13) = (14) *จะได้*

*ดังนั้น* …………(15)

ทิศของแรงลอยตัวจะมีทิศพุ่งขึ้นในแนวดิ่งผ่านจุดศูนย์ถ่วงของของเหลว และจุดเดียวกันนี้ในส่วนที่จมของวัตถุ เรียกว่า **จุดศูนย์กลางของแรงลอยตัว (**Center of buoyant force)

จากหลักของอาร์คิมีดิสสามารถวิเคราะห์การจมการลอยตัวของวัตถุได้ดังนี้

  1. ถ้าความหนาแน่นของวัตถุ**เท่ากับ**ความหนาแน่นของของเหลว วัตถุจะ**ลอย**อยู่ได้ในของเหลว เพราะแรงลอยตัว (FB) มีขนาดเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ (W) นั่นคือ FB = W

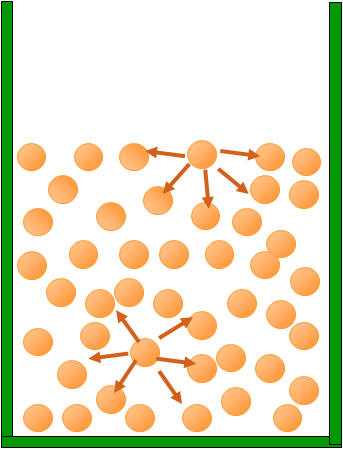
2. ถ้าความหนาแน่นของวัตถุ**มากกว่า**ความหนาแน่นของของเหลว วัตถุจะ**จม**ลงในของเหลวจนถึงก้นภาชนะที่บรรจุของเหลวนั้น เพราะแรงลอยตัวมีขนาดน้อยกว่าน้ำหนักของวัตถุ นั่นคือ FB < W

3. ถ้าความหนาแน่นของวัตถุ**น้อยกว่า**ความหนาแน่นของของเหลว วัตถุจะ**ลอยตัวโผล่ออกมา**จากผิวของของเหลว เพราะแรงลอยตัวมีขนาดมากกว่าน้ำหนักของวัตถุ นั่นคือ FB > W

โดยที่แรงลอยตัวมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับส่วนที่จมของวัตถุ

***แรงตึงผิว***(Surface Force) ***และความตึงผิว***(Surface Tension)

*นิยามของ แรงตึงผิว คือ* แรงชนิดหนึ่งที่พยายามยึดผิวของของเหลวไว้ไม่ให้แยกจากกัน แรงตึงผิวนี้เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว ซึ่งแรงตึงผิวบริเวณผิวของเหลวและภายใต้ผิวของเหลวมีลักษณะดังภาพ

**

แรงตึงผิวเป็นปรากฎการณ์ทางธรรมชาติ สำหรับแรงตึงผิวของของเหลวที่กระทำต่อวัตถุ ซึ่งพยายามจะทำให้ผิวของเหลวไม่ให้แยกจากกัน จะมีทิศขนานกับผิวของเหลว และตั้งฉากกับทุกๆ จุดของเส้นขอบเขตของวัตถุที่ผิวของเหลวนั้นสัมผัสอยู่

*นิยามของ ความตึงผิว (γ) คือ*อัตราส่วนระหว่างขนาดของแรงตึงผิว (F) ต่อความยาวของเส้นขอบเขตของวัตถุที่ผิวของเหลวนั้นสัมผัสอยู่ (*l*) หรือความพยายามในการยึดผิวของเหลว*ดังสมการ*

*ความตึงผิวเป็นค่าคงที่สำหรับของเหลวชนิดหนึ่งๆ จึงใช้เป็นคุณสมบัติเฉพาะของของเหลวชนิดนั้นๆ ได้ สำหรับการพิจารณาที่เกี่ยวข้องกับความตึงผิว เราจะใช้แผ่นวัตถุกลม วงแหวน หรือวัตถุรูปทรงเรขาคณิตอื่นๆ วางลงบนของเหลว เพื่อดูว่า ของเหลวชนิดนั้นจะทนรับแรงกดจากวัตถุได้มากน้อยเท่าใด*

*สำหรับการคำนวณเกี่ยวกับความตึงผิว*

*หาได้จากสูตร*

เมื่อ F คือ ขนาดของแรงดึงผิว (N)

*l*  คือ ความยาวของผิวสัมผัส (m)

( *l* ของแผ่นวัตถุกลม เท่ากับ 2*π*R) ( *l* ของวงแหวนบาง เท่ากับ 4*π*R)

γ คือ ค่าความตึงผิวของของเหลว (N/m)

**แรงระหว่างโมเลกุล**(Intermolecular Force)

*แรงระหว่างโมเลกุลของสาร มี 2 รูปแบบ คือ*

***แรงเชื่อมแน่น*** *(cohesive force) คือ แรงระหว่างโมเลกุลของของเหลว ซึ่งเป็นแรงระหว่างโมเลกุลของสารชนิดเดียวกัน*

***แรงยึดติด*** *(adhesive force) คือ แรงระหว่างโมเลกุลของของเหลวกับโมเลกุลของภาชนะ ซึ่งเป็นแรงระหว่างโมเลกุลของสารต่างชนิดกัน*

1.ถ้าแรงยึดติดระหว่างโมเลกุลของของเหลวกับโมเลกุลของหลอดทดลองมากกว่าแรงเชื่อมแน่นระหว่างโมเลกุลของของเหลวที่บรรจุในหลอดทดลอง แล้ว จะมีผลทำให้ผิวของของเหลวที่สัมผัสกับผนังหลอดโค้งเว้า

2.ถ้าแรงเชื่อมแน่นระหว่างโมเลกุลของของเหลวที่บรรจุในหลอดทดลอง มากกว่าแรงยึดติดระหว่างโมเลกุลของของเหลว กับโมเลกุลของหลอดทดลอง แล้วจะมีผลทำให้ผิวของของเหลวที่สัมผัสกับผนังหลอดโค้งนูน

**ความหนืด** (Viscosity)

เป็นคุณสมบัติที่ใช้แสดงลักษณะการไหลของของเหลวหรืออาจจะหมายถึงความต้านทานการไหล ของเหลวที่มีค่าความหนืดต่ำจะไหลได้ง่ายกว่าของเหลวที่มีค่าความหนืดสูง

ขณะที่ของไหลมีการเคลื่อนที่ แต่ละโมเลกุลของของไหลก็มีการเคลื่อนที่ชนกันไปมาตลอดเวลาด้วยทิศทางที่ไม่แน่นอน การเคลื่อนที่เหล่านี้เองที่ส่งผลต้านการเคลื่อนที ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ช้าลง หรือทำให้เกิดความหนืดขึ้นในของไหล

ถ้าเราปล่อยวัตถุทรงกลมให้เคลื่อนที่ในของไหลแล้ว จะพบว่าความหนืด ของของไหลจะทำให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ แรง ที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุนี้เรียกว่า แรงหนืด ซึ่งเกิดในของไหล เช่น อากาศ น้ำ น้ำมัน แรงนี้ทำให้เกิดความร้อนในวัตถุ

แรงต้านการเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากความหนืดของของเหลว ของเหลวที่มีความหนืดมากจะมีแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวนั้นมาก แรงหนืดที่ของเหลวกระทำต่อวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ในของเหลวนั้น ขึ้นอยู่กับความหนืดของของเหลวและขนาดความเร็วของวัตถุขณะนั้นด้วย

แรงหนืดของของเหลว ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิต่ำแรงหนืดจะมาก และเมื่ออุณหภูมิสูงแรงหนืดจะน้อย แต่สำหรับแรงหนืดของอากาศ พบว่าถ้าอุณหภูมิต่ำแรงหนืดจะน้อย และเมื่ออุณหภูมิสูงแรงหนืดจะมาก

**กฎของสโตกส์ (Stoke’s Law)**

“สำหรับของเหลวชนิดหนึ่ง ๆ แรงหนืดแปรผันตรงกับความเร็วของวัตถุ”

จะได้

เมื่อ Fvis คือ แรงหนืดของของไหล (N)

r คือ รัศมีของวัตถุทรงกลม (m)

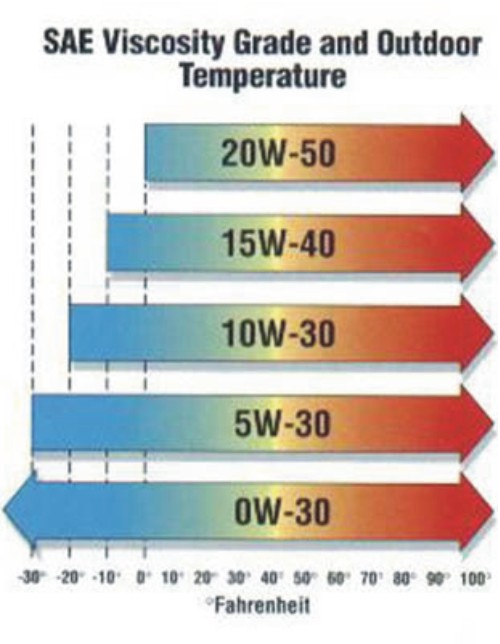
v คือ ความเร็วของวัตถุทรงกลม (m/s2)

η *(eta)* คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหล (N.s/m2 หรือ ปาสคาล.วินาที Pa.s)

**น้ำมันหล่อลื่นที่อยู่ในเครื่องยนต์**

**ความหนืด (Viscosity)** เป็นค่าที่บอกถึงคุณสมบัติการต้านการไหลของน้ำมันหล่อลื่น ยิ่งมีค่ามากก็หมายถึงน้ำมันหล่อลื่นนั้นเหนียวข้นมากหรือหนืดมาก ยิ่งมีค่าน้อยก็หมายถึงความหนืดน้อย  
          ค่าความหนืดมีมาตรฐานกำหนดอยู่หลายมาตรฐานด้วยกันตามแต่หน่วยงานหรือองค์กรที่เกี่ยวข้องเป็นผู้กำหนด ซึ่งทำให้ค่าความหนืดแต่ละมาตรฐานมีค่าที่แตกต่างกันออกไป อาทิ มาตรฐาน ISO, SAE (พบในน้ำมันหล่อลื่นของยานยนต์), SUS (ส่วนใหญ่เป็นของอเมริกา),  AGMA (พบในน้ำมันเกียร์อุตสาหกรรม), Engler, Redwood เป็นต้น  
          สำหรับมาตรฐานที่นิยมใช้กันหรือพบเห็นกันมาก ได้แก่

1. **ISO (International Organization for Standardization)**- เป็นมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากเป็นสากล โดยใช้วิธีการวัดที่อุณหภูมิมาตรฐาน 40 oC มีหน่วยเป็น เซนติสโตรก (Centistroke, cSt) แล้วกำหนดเป็นลำดับตัวเลขเรียกว่า ISO VG (ISO Viscosity Grade) ซึ่งพอจะลำดับได้ ดังนี้ ISO VG 2, 3, 5, 7, 10, 15, 22, 32, 46, 68, 100, 150, 220, 320, 460, 680, 1000, 1500
2. **SAE (The American Society of Automotive Engineers)** - เป็นมาตรฐานที่กำหนดขึ้นโดยสมาคมวิศวกรยานยนต์แห่งสหรัฐอเมริกา วัดที่อุณหภูมิ 100 oC โดยมีการกำหนดค่าความหนืดทั้งแบบเกรดเดียว (monograde) และเกรดรวม (multigrade) แยกเป็นน้ำมันเครื่องและน้ำมันเกียร์ยานยนต์ ยกตัวอย่างเช่น   
   *สำหรับน้ำมันเครื่องเกรดเดียว (monograde)* : SAE 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W, 20, 30, 40, 50, 60  
   *สำหรับน้ำมันเครื่องเกรดรวม (multigrade)* : SAE 15w-40, 20W-50, 5W-40, 10W-30, 15W-50 เป็นต้น  
   *สำหรับน้ำมันเกียร์ยานยนต์ monograde* : SAE 70W, 75W, 80W, 85W, 90, 140, 250  
   *สำหรับน้ำมันเกียร์ยานยนต์ multigrade* : SAE 80W-90 เป็นต้น
3. **AGMA (The American Gear Manufacture's Association)** - กำหนดโดยสมาคมผู้ผลิตเกียร์ของสหรัฐอเมริกา มักใช้กับเกียร์อุตสาหกรรม



**แบบฝึกหัด**

1.จากรูปถ้าแท่งไม้หนัก 1500 นิวตัน A1

จงหาความดันที่เกิดขึ้นบนพื้นที่แท่งไม้ ที่วางไว้ ถ้า 4 m

ก. เอาหน้า A1 วางลง A2

ข. เอาหน้า A2 วางลง 1 m 1.5 m

2. ผู้หญิงมีมวล 50 กิโลกรัม ยืนอยู่บนรองเท้าส้นสูง โดยที่น้ำหนักเฉลี่ยให้แก่รองเท้าแต่ละข้างเท่ากัน ถ้าส้นเท้ามีพื้นที่ 2 ตารางเซนติเมตร จงหาว่าความดันที่ส้นเท้ากดพื้นแต่ละข้างเป็นเท่าใด ให้ *g* = 10 m/s2

3. นักดำหน้าคนหนึ่งสามารถทนความดันเกจได้มากที่สุด 1.5 x 105 ปาสคาล จงหาว่าในขณะดำน้ำลงไปในแม่น้ำแห่งหนึ่ง เขาสามารถดำน้ำได้ลึกที่สุดเท่าใด กำหนดความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1000 kg/m3

พลศาสตร์ของของไหล

ของไหลอุดมคติ

สมบัติของของไหลในอุดมคติ(Ideal fluid)

1.มีการไหลอย่างสม่ำเสมอ แต่ละอนุภาคของของไหลเมื่อเคลื่อนที่ผ่านจุดหนึ่งจะมีความเร็วค่าหนึ่ง ทุกๆ อนุภาคของของไหลเมื่อเคลื่อนที่ผ่านจุดเดียวกันจะมีความเร็วเท่ากัน ซึ่งความเร็ว ณ จุดนั้นๆ โดยความเร็วของอนุภาคของของไหลเมื่อผ่านจุดต่างๆ กันจะเท่ากันหรือต่างกันก็ได้

2.มีการไหลโดยไม่หมุน กล่าวคือ บริเวณโดยรอบจุดหนึ่งๆ ในของไหลจะไม่มีอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมรอบจุดนั้นๆ

3.มีการไหลโดยไม่มีแรงต้านเนื่องจากความหนืดของของไหล หมายความว่าไม่มีแรงภายในเนื้อของของไหลกระทำต่ออนุภาคของของไหล

4.ของไหลไม่สามารถอัดได้ หมายความว่า ของไหลมีปริมาตรคงตัว โดยแต่ละส่วนไม่ว่าจะไหลผ่านบริเวณใดยังคงมีความหนาแน่นเท่าเดิม

สายกระแส (Stramline) คือ เส้นทางเดินของอนุภาคหนึ่งๆ ซึ่งเส้นสัมผัส ณ จุดใดๆ บนสายกระแสจะอยู่ในทิศของความเร็วของอนุภาคของของไหล ณ จุดนั้น

หลอดการไหล (Tube of flow) เป็นการจำลองเสมือนท่อที่มีของไหลไหลเข้าทางปลายหนึ่ง และมีการไหลออกของของไหลไปยังปลายด้านหนึ่ง

หลักของแบร์นูลลี

สมการของแบร์นูลลี(Bernoulli’s Equation)

แรงตึงผิวเกิดจากแรงดึงดูดของโมเลกุลของของเหลว ซึ่งจะพยายามดึงให้ผิวมีพื้นที่น้อยที่สุด ซึ่งก็หมายความว่าหยดน้ำต้องมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้นของเหลวที่มีแรงตึงผิวมาก ๆ ผิวของหยดน้ำควรจะมีลักษณะโค้งคล้าย ๆ กับซาลาเปา ส่วนของเหลวที่มีแรงตึงผิวน้อย ผิวของหยดน้ำจะคล้ายรูปพิซซ่า เหมือนกับลูกแมวในฤดูหนาวมันจะใช้วิธีแรงตึงผิวเกิดจากแรงดึงดูดของโมเลกุลของของเหลว ซึ่งจะพยายามดึงให้ผิวมีพื้นที่น้อยที่สุด ซึ่งก็หมายความว่าหยดน้ำต้องมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้นของเหลวที่มีแรงตึงผิวมาก ๆ ผิวของหยดน้ำควรจะมีลักษณะโค้งคล้าย ๆ กับซาลาเปา ส่วนของเหลวที่มีแรงตึงผิวน้อย ผิวของหยดน้ำจะคล้ายรูปพิซซ่า เหมือนกับลูกแมวในฤดูหนาวมันจะใช้วิธีนอนก่ายกันเป็นการลดพื้นที่ผิวลงเพื่อให้เกิดความอบอุ่น

นอนก่ายกันเป็นการลดพื้นที่ผิวลงเพื่อให้เกิดความอบอุ่น

แรงลอยตัว  
 เมื่อวัตถุแทนที่ของเหลว ไม่ว่าจะจมมิด หรือจมบางส่วน  
ของเหลวจะออกแรงดันวัตถุนั้นในทิศสวนทางกับแรงน้ำหนัก  
เรียกแรงนี้ว่าแรงลอยตัวครับ  
  
ตามประวัติศาสตร์ คนที่คิดเรื่องนี้ก่อนเพื่อนเลยก็คืออาร์คีมีดีส  
แต่ในตอนนั้น เขาจะบอกว่าน้ำหนักวัตถุมันจะหายไปเมื่อชั่งในของเหลว  
แต่ที่จริง น้ำหนักวัตถุไม่ได้หายไปไหน แต่ว่าชั่งได้น้อยกว่าเมื่อชั่งในอากาศ  
ก็เนื่องมาจากของเหลวช่วยยกวัตถุขึ้นแรงหนึ่ง   
ตาชั่งก็เลยไม่ต้องออกแรงทั้งหมด พอชั่งได้น้อย อาร์คีมีดีสก็เลยบอกว่าน้ำหนักหายไป

แรงลอยตัว (buoyant force) หรือแรงพยุงของของเหลวทุกชนิดเป็นไปตามหลักของอาร์คิมีดิส (Archimedes' Principle) ซึ่งกล่าวว่า แรงลอยตัวหรือแรงพยุงที่ของเหลวกระทำต่อวัตถุ มีขนาดเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของวัตถุส่วนที่จมอยู่ในของเหลว

ρ วัตถุ < ρ ของเหลว ρ วัตถุ = ρ ของเหลว ρ วัตถุ > ρ ของเหลว

ความหนาแน่น ρ = M / V หรือ M = ρV

ดังนั้น Mg = ρVg

แรงลอยตัว = น้ำหนักของของเหลวปริมาตรเท่าวัตถุส่วนจม

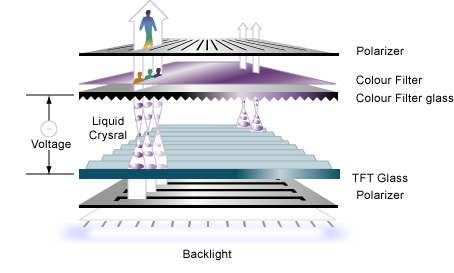
= ρของเหลวVส่วนจม g

น้ำหนักของวัตถุ = น้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่

ประโยชน์ของค่ามอดูลัสของยัง

จากสูตร จะเห็นว่า ของแข็งที่มีมอดูลัสสูงจะสามารถทนต่อแรงภายนอกได้มาก โดยรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปน้อย ส่วนของแข็งที่มีค่ามอดูลัสน้อยจะเปลี่ยนรูปร่างได้ง่ายเมื่อถูกแรงกระทำ

ดังนั้น ในการเลือกวัสดุเพื่อใช้ในการก่อสร้างจึงต้องอาศัยค่ามอดูลัสของวัตถุต่างๆ เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาว่า วัสดุนั้นจะสามารถรับแรงได้มากน้อยเพียงใด



ในจอ LCD  จะใช้ สารสังเคราะห์ที่เรียกว่า ผลึกเหลว (Liquid Crystal)  หมายถึง สารที่อยู่ระหว่างของแข็งกับของเหลว ปกติสารทั่วไปเมื่อเป็นของแข็งที่อุณหภูมิหนึ่ง  เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะหลอมละลายเป็นของเหลว แต่สำหรับผลึกเหลวนี้มีคุณสมบัติพิเศษคือมีช่วงอุณหภูมิที่กว้างสำหรับสถานะที่อยู่ระหว่าง ของแข็งกับของเหลว   
        ผลึกเหลวจึงแตกต่างจากวัสดุทั่วไปที่มีจุดหลอมเหลวที่เปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว หรือแม้แต่พลาสติกก็จะเริ่มอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อนจนหลอมละลาย แต่สำหรับผลึกเหลวมีลักษณะพิเศษ ชนิดของผลึกเหลวแยกตามโครงสร้างโมเลกุลเช่น แบบนิวเมติก (nematic) แบบซิเมติก (smetic) แบบคอเลสเตริก   
        สำหรับหลักการทำงานของมันนั้น ปรากฏการณ์ของผลึกเหลวเป็นปรากฏการณ์ที่มีลักษณะพิเศษสารอื่นๆ ในสถานะปกติ เมื่อยังไม่มีแรงดันไฟฟ้าป้อนให้ โมเลกุลของผลึกเหลววางตัวเป็นเกลียวในแนวคอลัมน์ แต่เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับผลึกเหลว โครงสร้างโมเลกุลจะกระจักกระจายอย่างสุ่ม