



## แผนการเรียนรู้

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

สาขาวิชาช่างยนต์

กลุ่มอาชีพเครื่องกลและยานยนต์

ประเภทวิชาอุตสาหกรรม

รหัสวิชา 30101-2001 วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล  
ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567

จัดทำโดย

นายคณิต อินทะใจ

แผนกวิชยานยนต์

วิทยาลัยการอาชีพบางสะพาน  
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

อาชีวศึกษาจังหวัดประจวบคีรีขันธ์  
กระทรวงศึกษาธิการ

## คำนำ

แผนการจัดการเรียนรู้ วิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล รหัสวิชา 30101-2001 ท-ป-น 3-0-3 นี้ มุ่งเน้นสมรรถนะและบูรณาการหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นคู่มือประกอบการเรียน การสอนในรายวิชาเพื่อพัฒนาผู้เรียนเป็นสำคัญ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563 สำนักงานคณะกรรมการ การอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

การจัดทำได้มีการพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับผู้เรียน โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 10 หน่วย การเรียนรู้ ประกอบด้วย

- 1) คุณสมบัติของการไหล
- 2) ความหนืด
- 3) การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง
- 4) แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม
- 5) แรงพยุงและแรงลอยตัว
- 6) สมการโมเมนตัมและพลังงาน
- 7) สมการการไหลต่อเนื่อง
- 8) สมการการไหลสม่ำเสมอ
- 9) การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง
- 10) การวัดอัตราการไหล

พร้อมทั้ง แบบฝึกหัด ใบงาน แบบทดสอบพร้อมเฉลย และสื่อการเรียนการสอนต่าง ๆ เพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึก ทักษะในสถานการณ์ต่าง ๆ มีทักษะการคิดและแก้ปัญหา และบูรณาการกับการทำงานตามสาขาอาชีพต่าง ๆ ต่อไป

ผู้จัดทำหวังว่าแผนการจัดการเรียนรู้เล่มนี้คงจะเป็นแนวทางและเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน และผู้สนใจทั่วไป หากมีข้อเสนอแนะประการใด ผู้จัดทำยินดีน้อมรับไว้เพื่อปรับปรุงในโอกาสต่อไป

ผู้จัดทำ  
นายคณิต อินทะใจ

| คำนำ                                                           | หน้า |
|----------------------------------------------------------------|------|
| สารบัญ                                                         |      |
| ลักษณะรายวิชา                                                  |      |
| มาตรฐานอาชีพ (ถ้ามี)                                           |      |
| หน่วยการเรียนรู้                                               |      |
| การวางแผนการจัดการเรียนรู้                                     |      |
| <b>หน่วยที่ 1 งานคุณสมบัติของการไหล</b>                        |      |
| แผนการจัดการเรียนรู้                                           | 1    |
| ใบความรู้                                                      | 7    |
| ใบงาน                                                          | 13   |
| แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ | 18   |
| <b>หน่วยที่ 2 งานความหนืด</b>                                  |      |
| แผนการจัดการเรียนรู้                                           | 21   |
| ใบความรู้                                                      | 24   |
| ใบงาน                                                          | 33   |
| แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ | 38   |
| <b>หน่วยที่ 3 งานการสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง</b>              |      |
| แผนการจัดการเรียนรู้                                           | 41   |
| ใบความรู้                                                      | 44   |
| ใบงาน                                                          | 54   |
| แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ | 58   |
| <b>หน่วยที่ 4 แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม</b>                     |      |
| แผนการจัดการเรียนรู้                                           | 61   |
| ใบความรู้                                                      | 64   |
| ใบงาน                                                          | 72   |
| แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ | 75   |
| <b>หน่วยที่ 5 แรงพุงและแรงลอยตัว</b>                           |      |
| แผนการจัดการเรียนรู้                                           | 78   |
| ใบความรู้                                                      | 81   |
| ใบงาน                                                          | 89   |
| แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ | 92   |
| <b>หน่วยที่ 6 สมการโมเมนตัมและพลังงาน</b>                      |      |
| แผนการจัดการเรียนรู้                                           | 95   |
| ใบความรู้                                                      | 98   |
| ใบงาน                                                          | 106  |
| แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ | 109  |

## หน่วยที่ 7 สมการการไหลต่อเนื่อง

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| แผนการจัดการเรียนรู้                                           | 112 |
| ใบความรู้                                                      | 115 |
| ใบงาน                                                          | 124 |
| แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ | 129 |

## หน่วยที่ 8 สมการการไหลสม่ำเสมอ

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| แผนการจัดการเรียนรู้                                           | 132 |
| ใบความรู้                                                      | 135 |
| ใบงาน                                                          | 149 |
| แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ | 153 |

## หน่วยที่ 9 การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| แผนการจัดการเรียนรู้                                           | 156 |
| ใบความรู้                                                      | 159 |
| ใบงาน                                                          | 169 |
| แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ | 171 |

## หน่วยที่ 10 การวัดอัตราการไหล

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| แผนการจัดการเรียนรู้                                           | 174 |
| ใบความรู้                                                      | 177 |
| ใบงาน                                                          | 190 |
| แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ | 195 |

## บรรณานุกรม

## ภาคผนวก

## ลักษณะรายวิชา

### หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

ประเภทวิชา อุตสาหกรรม กลุ่มอาชีพ เครื่องกลและยานยนต์ สาขาวิชาช่างยนต์

รหัส 30101-2001 ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล

ทฤษฎี 3 ชั่วโมง/สัปดาห์ ปฏิบัติ 0 ชั่วโมง/สัปดาห์ จำนวน 3 หน่วยกิต

### อ้างอิงมาตรฐาน

ไม่มี

### ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล 3-0-3

### จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. เข้าใจหลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหล
2. สามารถวิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล
3. มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการสืบค้นความรู้ และใช้เหตุผลของกลศาสตร์ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับ ของไหล มีความตระหนักถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน
4. สามารถประยุกต์ใช้หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล

### สมรรถนะรายวิชา

1. ประมวลความรู้เกี่ยวกับหลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหล
2. วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล
3. ประยุกต์ใช้สถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล

### คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของของไหล การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง สถิตยศาสตร์ของไหล การหาแรงกระทำกับวัตถุที่จม แรงพยุงและแรงลอยตัว พลศาสตร์ของไหล การไหลในท่อ สมการความต่อเนื่อง สมการ โมเมนตัม สมการพลังงาน และการวัดคาของไหลและการประยุกต์ใช้งานด้านเครื่องกล

## ตารางวิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้

| ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชาหลักสูตรของไหลในงานเครื่องกล |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| งานหลัก                                                    | งานย่อย                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | สมรรถนะย่อย<br>(มาตรฐานอาชีพ)                                                        | ความรู้<br>ในการปฏิบัติงาน                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ทักษะ<br>ในการปฏิบัติงาน                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| งานหลัก 1<br>คุณสมบัติของ<br>การไหล                        | 1. ของไหล<br>2. องศาเอพ์ไอ<br>3. ความหนืด<br>4. ความหนาแน่น<br>5. น้ำหนักจำเพาะ<br>6. ปริมาตรจำเพาะ<br>7. ความ<br>ถ่วงจำเพาะ<br>8. สมการบอก<br>สถานะของก๊าซ<br>อุดมคติ<br>9. ความหนืด<br>10. ความตึงผิว<br>11. ความดันไอ<br>12. หน่วยที่ใช้ใน<br>กลศาสตร์ของไหล                                                  | 1. แสดงความรู้<br>เบื้องต้นของ<br>คุณสมบัติของการ<br>ไหล                             | 1. ของไหล<br>2. องศาเอพ์ไอ<br>3. ความหนืด<br>4. ความหนาแน่น<br>5. น้ำหนักจำเพาะ<br>6. ปริมาตรจำเพาะ<br>7. ความถ่วงจำเพาะ<br>8. สมการบอก<br>สถานะของก๊าซอุดม<br>คติ<br>9. ความหนืด<br>10. ความตึงผิว<br>11. ความดันไอ<br>12. หน่วยที่ใช้ใน<br>กลศาสตร์ของไหล                                                   | 1. อธิบายคำจำกัดความ<br>ของคุณสมบัติ<br>ต่าง ๆ ของการไหลได้<br>ถูกต้อง<br>2. บอกหน่วยที่ใช้ในคำ<br>จำกัดความ ของคุณสมบัติ<br>ต่าง ๆ ของของไหล ได้<br>ถูกต้อง<br>3. คำนวณหาค่าคุณสมบัติ<br>ต่าง ๆ ของ<br>ของไหลได้ถูกต้อง                                                                                                                                                                |
| งานหลัก 2<br>ความหนืด                                      | 1. ความสัมพันธ์<br>ระหว่างความหนืด<br>แรงต้านการเฉือน<br>และความเร็ว<br>2. ความสัมพันธ์<br>ระหว่างความหนืด<br>กับอุณหภูมิ<br>3. ผลของการเฉือน<br>ที่มีต่อความเหลว<br>4. ผลของความดัน<br>ที่มีต่อความหนืด<br>5. ความหนืด<br>สัมบูรณ์<br>6. ความหนืดจลน์<br>7. การหาความ<br>หนืดจลน์โดยใช้<br>Saybolt<br>Viscosity | 1. แสดงความรู้เกี่ยวกับ<br>ความหนืด<br>2. คำนวณประมาณค่า<br>ที่เกี่ยวข้องกับความหนืด | 1. ความสัมพันธ์ระหว่าง<br>ความหนืด<br>แรงต้านการเฉือน<br>และความเร็ว<br>2. ความสัมพันธ์<br>ระหว่างความหนืด<br>กับอุณหภูมิ<br>3. ผลของการเฉือนที่<br>มีต่อความเหลว<br>4. ผลของความดันที่<br>มีต่อความหนืด<br>5. ความหนืด<br>สัมบูรณ์<br>6. ความหนืดจลน์<br>7. การหาความหนืด<br>จลน์โดยใช้ Saybolt<br>Viscosity | 1. อธิบายความหมายของ<br>ความหนืด ได้ถูกต้อง<br>2. อธิบายความสัมพันธ์<br>ความหนืด แรงต้านการ<br>เฉือน และความเร็วได้<br>ถูกต้อง<br>3. อธิบายความหมายความ<br>หนืดสัมบูรณ์และความหนืด<br>จลน์ได้ถูกต้อง<br>4. อธิบายการหาความหนืด<br>จลน์โดยใช้ Saybolt<br>Viscosity<br>5. คำนวณหาค่าความหนืด<br>สัมบูรณ์ ความหนืดจลน์<br>ความเค้นเฉือน และแรงดึง<br>ที่กระทำกับผิวของของไหล<br>ได้ถูกต้อง |

|                                                  |                                                                                                                                    |                                                                                                                       |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                  | 8.การหาความหนืดโดยใช้หลอดคาปิลลารี                                                                                                 |                                                                                                                       | 8.การหาความหนืดโดยใช้หลอดคาปิลลารี                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>งานหลัก 3</b><br>การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง | 1. การวัดความดัน<br>2. การอ่านค่าความดัน<br>3. เครื่องมือที่ใช้วัดความดัน<br>4. กฎของปาสคาล<br>5. ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเฮด | 1. แสดงความรู้เกี่ยวกับความดันของไหลที่หยุดนิ่ง<br>2. คำนวณหาความดันของไหลที่หยุดนิ่ง                                 | 1. การวัดความดัน<br>2. การอ่านค่าความดัน<br>3. เครื่องมือที่ใช้วัดความดัน<br>4. กฎของปาสคาล<br>5. ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเฮด | 1. อธิบายการวัดความดันแบบต่าง ๆ ได้<br>2. อธิบายหลักการของปาสคาลได้<br>3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันกับเฮดได้ถูกต้อง<br>4. คำนวณหาความดันของไหล ในท่อได้ถูกต้อง<br>5. คำนวณหาความดันโดยใช้แมนอมิเตอร์แบบตัวยูได้ถูก                                                                                                      |
| <b>งานหลัก 4</b><br>แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม     | 1. แรงที่กระทำบนแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ ของเหลว<br>2. การหาดำแหน่งที่แรงกระทำ<br>3. แรงที่กระทำบนแผ่นโค้งที่จมอยู่ภายใต้ ของเหลว    | 1. แสดงความรู้เกี่ยวกับแรงที่เกิดจากของเหลวกระทำต่อวัตถุ<br>2. คำนวณแรงที่เกิดจากของเหลวกระทำต่อวัตถุที่อยู่ในของเหลว | 1. แรงที่กระทำบนแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ ของเหลว<br>2. การหาดำแหน่งที่แรงกระทำ<br>3. แรงที่กระทำบนแผ่นโค้งที่จมอยู่ภายใต้ ของเหลว    | 1. อธิบายหลักการของแรงกระทำกับแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว ได้ถูกต้อง<br>2. อธิบายหลักการหาดำแหน่งที่แรง กระทำในแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลวได้ถูกต้อง<br>3. คำนวณหาแรงที่กระทำกับแผ่นราบ ได้ถูกต้อง<br>4. คำนวณหาดำแหน่งที่แรงกระทำกับแผ่นราบได้ถูกต้อง<br>5. คำนวณหาแรงที่กระทำกับแผ่นโค้ง ที่จมอยู่ภายใต้ของเหลวได้ถูกต้อง |
| <b>งานหลัก 5</b><br>แรงพยุงและแรงลอยตัว          | 1. แรงลอยตัว<br>2. การทรงตัวของวัตถุลอย<br>3. ลักษณะการทรงตัวของวัตถุลอย<br>4. การหาระยะความสูง                                    | 1. แสดงความรู้เกี่ยวกับแรงพยุงของของเหลว<br>2. คำนวณหาแรงลอยตัวของของเหลว                                             | 1. แรงลอยตัว<br>2. การทรงตัวของวัตถุลอย<br>3. ลักษณะการทรงตัวของวัตถุลอย<br>4. การหาระยะความสูง                                    | 1. อธิบายความหมายของแรงลอยตัว ได้ถูกต้อง<br>2. อธิบายการทรงตัวของวัตถุลอยได้ถูกต้อง<br>3. อธิบายความหมายของ Metacenter ได้ถูกต้อง<br>4. คำนวณหาแรงลอยตัวได้ถูกต้อง                                                                                                                                                              |

|                                             |                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                             |                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                           | 5. คำนวณหาแรงคู่ควบ และ Metacentric Height ได้ถูกต้อง                                                                                                                                                                                                  |
| งานหลัก 6<br>สมการ<br>โมเมนต์<br>และพลังงาน | 1. กฎของพอยเซล<br>เล<br>2. กฎของสโตกส์<br>3. การดลและ<br>โมเมนต์<br>4. แรงบนท่อความ<br>ดัน<br>5. พลังงาน                                                                      | 1. แสดงความรู้<br>เกี่ยวกับสมการของ<br>การ ไหล<br>2. คำนวณพลังงาน<br>ของของไหล                                                             | 1. กฎของพอยเซล<br>2. กฎของสโตกส์<br>3. การดลและ<br>โมเมนต์<br>4. แรงบนท่อความ<br>ดัน<br>5. พลังงาน                                                                        | 1. อธิบายกฎของพอยเซล<br>ได้ถูกต้อง<br>2. อธิบายกฎของสโตกส์ได้<br>ถูกต้อง<br>3. อธิบายการดลได้ถูกต้อง<br>4. อธิบายโมเมนต์ได้<br>ถูกต้อง<br>5. อธิบายพลังงานรูปต่าง ๆ<br>ได้ถูกต้อง<br>6. คำนวณหาโมเมนต์ การ<br>ดล และพลังงานรูปต่าง ๆ<br>ได้ถูกต้อง     |
| งานหลัก 7<br>สมการการไหล<br>ต่อเนื่อง       | 1. ทฤษฎีการไหล<br>ของของไหล<br>2. อัตราการไหล<br>3. ความเร็วเฉลี่ย<br>4. กฎของมวล<br>5. สมการการไหล<br>ต่อเนื่อง                                                              | 1. แสดงความรู้<br>เกี่ยวกับทฤษฎีการ<br>ไหล ของของไหล<br>2. คำนวณสมการ<br>ของการไหลต่อเนื่อง                                                | 1. ทฤษฎีการไหล<br>ของของไหล<br>2. อัตราการไหล<br>3. ความเร็วเฉลี่ย<br>4. กฎของมวล<br>5. สมการการไหล<br>ต่อเนื่อง                                                          | 1. อธิบายทฤษฎีของการ<br>ไหลของ ของไหลได้ถูกต้อง<br>2. อธิบายคำจำกัดความ<br>ของอัตรา การไหลได้<br>ถูกต้อง<br>3. อธิบายคำจำกัดความกฎ<br>ของมวล ได้ถูกต้อง<br>4. คำนวณหาอัตราการไหล<br>ของ ของไหลได้ถูกต้อง<br>5. คำนวณหาความเร็วของ<br>ของไหล ได้ถูกต้อง |
| งานหลัก 8<br>สมการการไหล<br>สม่ำเสมอ        | 1. กฎพลังงาน<br>สำหรับการไหล<br>สม่ำเสมอ<br>2. พลังงานในการ<br>ไหลของของไหล<br>3. สมการการไหล<br>สม่ำเสมอ<br>4. สมการการไหล<br>สม่ำเสมอเนื่องจาก<br>มีการเสียดทาน<br>ภายในท่อ | 1. แสดงความรู้<br>เกี่ยวกับการไหล<br>สม่ำเสมอ ที่มีแรง<br>เสียดทานภายในท่อ<br>2. คำนวณหาค่า<br>ปริมาณต่าง ๆ ใน<br>สมการ การไหล<br>สม่ำเสมอ | 1. กฎพลังงานสำหรับ<br>การไหลสม่ำเสมอ<br>2. พลังงานในการ<br>ไหลของของไหล<br>3. สมการการไหล<br>สม่ำเสมอ<br>4. สมการการไหล<br>สม่ำเสมอเนื่องจากมี<br>การเสียดทานภายใน<br>ท่อ | 1. อธิบายกฎการทรง<br>พลังงานได้ ถูกต้อง<br>2. อธิบายคำจำกัดความ<br>พลังงานใน ของไหลได้<br>ถูกต้อง<br>3. อธิบายแรงที่เกิดจากของ<br>ไหลได้ ถูกต้อง<br>4. อธิบายการไหลของของ<br>ไหลใน ช่องทางเปิดได้<br>ถูกต้อง                                           |

|                                                   |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                   | 5. Energy Line และ Hydraulic Grade Line<br>6. การหาค่าพลังงานในของไหล<br>7. แรงที่เกิดจากของไหล<br>8. การไหลของของไหลในช่องทางเปิด                                                                        |                                                                                                                                                        | 5. Energy Line และ Hydraulic Grade Line<br>6. การหาค่าพลังงานในของไหล<br>7. แรงที่เกิดจากของไหล<br>8. การไหลของของไหลในช่องทางเปิด                                                                        | 5. คำนวณหาการหาค่าต่าง ๆ ใน สมการการไหลสม่ำเสมอได้ถูกต้อง<br>6. คำนวณหาค่าพลังงานในของไหลได้ถูกต้อง                                                                                                                    |
| <b>งานหลัก 9</b><br>การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง | 1. การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง<br>2. เรย์โนลด์ นัมเบอร์<br>3. การสูญเสียหลัก<br>4. การสูญเสียรอง                                                                                                        | 1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการไหลในท่อโค้ง<br>2. คำนวณการสูญเสียของการไหล                                                                                  | 1. การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง<br>2. เรย์โนลด์ นัมเบอร์<br>3. การสูญเสียหลัก<br>4. การสูญเสียรอง                                                                                                        | 1. อธิบายการไหลของของไหลในท่อได้ถูกต้อง<br>2. อธิบายความหมายของเรย์โนลด์ นัมเบอร์ได้ถูกต้อง<br>3. คำนวณหาค่าเรย์โนลด์ นัมเบอร์ได้ ถูกต้อง<br>4. คำนวณหาการสูญเสียหลักได้ ถูกต้อง<br>5. คำนวณหาการสูญเสียรองได้ ถูกต้อง |
| <b>งานหลัก 10</b><br>การวัดอัตราการไหล            | 1. การวัดอัตราการไหลผ่านรู<br>2. สัมประสิทธิ์ของกระแสน้ำของของไหลเริ่มขนาน<br>3. สัมประสิทธิ์ของความเร็<br>4. สัมประสิทธิ์ของการจ่ายของไหล<br>5. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ $C_c$ $C_v$ และ $C_d$ | 1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลแบบรู<br>2. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลแบบเวนจูรี<br>3. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลแบบหลอด | 1. การวัดอัตราการไหลผ่านรู<br>2. สัมประสิทธิ์ของกระแสน้ำของของไหลเริ่มขนาน<br>3. สัมประสิทธิ์ของความเร็<br>4. สัมประสิทธิ์ของการจ่ายของไหล<br>5. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ $C_c$ $C_v$ และ $C_d$ | 1. อธิบายหลักการวัดอัตราการไหล แบบรู แบบเวนจูรี และแบบหลอด ได้ถูกต้อง<br>2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ $C_c$ $C_v$ และ $C_d$ ได้ ถูกต้อง<br>3. คำนวณหาอัตราการไหลผ่านเวนจูรี ได้ถูกต้อง                  |

## ตารางวิเคราะห์พฤติกรรมการเรียนรู้ (แบบ 2)

| หน่วยการเรียนรู้                                                                    | ความสามารถที่คาดหวัง |            |            |              |               |               |                |              |                 | รวม | จำนวน ชั่วโมง<br>ท/ป |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|------------|--------------|---------------|---------------|----------------|--------------|-----------------|-----|----------------------|
|                                                                                     | พุทธิพิสัย           |            |            |              |               |               | ทักษะ<br>พิสัย | จิต<br>พิสัย | ประยุกต์<br>ใช้ |     |                      |
|                                                                                     | ความรู้              | ความเข้าใจ | การนำไปใช้ | การวิเคราะห์ | การประเมินค่า | การสร้างสรรค์ |                |              |                 |     |                      |
| 1. คุณสมบัติของการไหล                                                               | 2                    | 2          | 2          | 1            | -             | -             | 1              | 1            | 1               | 10  | 9/0                  |
| 2. ความหนืด                                                                         | 2                    | 2          | 2          | 1            | -             | -             | 1              | 1            | 1               | 10  | 6/0                  |
| 3. การสมมูลของของไหลที่<br>อยู่นิ่ง                                                 | 2                    | 2          | 1          | 1            | -             | -             | 1              | 2            | 1               | 10  | 6/0                  |
| 4. แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม                                                         | 2                    | 2          | 1          | 2            | -             | -             | 1              | 1            | 1               | 10  | 3/0                  |
| 5. แรงพยุงและแรงลอยตัว                                                              | 2                    | 2          | 2          | 1            | -             | -             | 1              | 1            | 1               | 10  | 3/0                  |
| 6. สมการโมเมนตัมและ<br>พลังงาน                                                      | 2                    | 2          | 1          | 1            | -             | -             | 2              | 1            | 1               | 10  | 3/0                  |
| 7. สมการการไหลต่อเนื่อง                                                             | 2                    | 2          | 1          | 1            | -             | -             | 1              | 2            | 1               | 10  | 3/0                  |
| 8. สมการการไหลสม่ำเสมอ                                                              | 2                    | 1          | 1          | 1            | 1             | -             | 2              | 1            | 1               | 10  | 6/0                  |
| 9. การไหลในท่อและการ<br>ไหลในท่อโค้ง                                                | 1                    | 1          | 2          | 2            | -             | -             | 2              | 1            | 1               | 10  | 3/0                  |
| 10. การวัดอัตราการไหล                                                               | 1                    | 2          | 2          | 1            | 1             | -             | -              | 2            | 1               | 10  | 6/0                  |
| รวม                                                                                 | 18                   | 18         | 15         | 12           | 2             | -             | 12             | 13           | 10              | 100 |                      |
| ประเมินผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา (เมื่อเรียนรายวิชานี้สำเร็จแล้วปฏิบัติงานได้) |                      |            |            |              |               |               |                |              |                 |     |                      |
| รวมทั้งรายวิชา                                                                      |                      |            |            |              |               |               |                |              |                 | 100 | 45                   |

## หน่วยการเรียนรู้

| หน่วย<br>ที่ | หน่วยการเรียนรู้                      | เวลาเรียน (ชม.) |         |     |
|--------------|---------------------------------------|-----------------|---------|-----|
|              |                                       | ทฤษฎี           | ปฏิบัติ | รวม |
| 1            | คุณสมบัติของการไหล                    | 9               | 0       | 9   |
| 2            | ความหนืด                              | 6               | 0       | 6   |
| 3            | การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง          | 6               | 0       | 6   |
| 4            | แรงกระทำกับวัตถุที่จม                 | 3               | 0       | 3   |
| 5            | แรงพุงและแรงลอยตัว                    | 3               | 0       | 3   |
| 6            | สมการโมเมนตัมและพลังงาน               | 3               | 0       | 3   |
| 7            | สมการการไหลต่อเนื่อง                  | 3               | 0       | 3   |
| 8            | สมการการไหลสม่ำเสมอ                   | 6               | 0       | 6   |
| 9            | การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง         | 3               | 0       | 3   |
| 10           | การวัดอัตราการไหล                     | 6               | 0       | 6   |
|              | ประเมินผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา | 45              | 0       | 45  |
| รวม          |                                       | 45              | 0       | 45  |

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | แผนการจัดการเรียนรู้                                      | หน่วยที่ ... 1               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 1-3              |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ คุณสมบัติของการไหล                   | ทฤษฎี 9 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง/งาน คุณสมบัติของการไหล                                                 |                                                           |                              |

## 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

## 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ.....สมรรถนะย่อย.....

- 1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน....
- 2) วิธีประเมิน.....
- 3) หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence)
- 4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence)

2.2 บุคลากรกลุ่มอาชีพ.....

## 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เบื้องต้นของคุณสมบัติของการไหล

## 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (เขียนให้ครบด้าน พุทธิพิสัย ทักษะพิสัย จิตพิสัย และ ประยุกต์ใช้)

- 4.1. อธิบายคำจำกัดความของคุณสมบัติต่างๆ ของการไหลให้ถูกต้อง
- 4.2. บอกหน่วยที่ใช้ในจำกัดความของคุณสมบัติต่างๆ ของของไหลได้ถูกต้อง
- 4.3. คำนวณหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ของของไหลได้ถูกต้อง

## 5. สารการเรียนรู้

- |                   |                                 |
|-------------------|---------------------------------|
| 1. ของไหล         | 2. องศาเอฟโอ                    |
| 3. ความหนืด       | 4. ความหนาแน่น                  |
| 5. น้ำหนักจำเพาะ  | 6. ปริมาตรจำเพาะ                |
| 7. ความถ่วงจำเพาะ | 8. สมการบอกสถานะของก๊าซอุดมคติ  |
| 9. ความหนืด       | 10. ความตึงผิว                  |
| 11. ความดันไอ     | 12. หน่วยที่ใช้ในกลศาสตร์ของไหล |

## 6. กิจกรรมการเรียนรู้

### 6.1 การนำเข้าสู่บทเรียน

1. นำเข้าสู่บทเรียน โดยใช้คำถามนำเข้า เช่น

- ของไหลที่ยุบตัวความดันแตกต่างกับของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดันอย่างไร
- องศาเอฟโอหมายถึงอะไร

2. ผู้เรียนอธิบายเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างของไหลที่ยุบตัวความดันกับของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดัน คือ ของไหลที่ยุบตัวความดัน เป็นของไหลชนิดที่เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง ปริมาตรของของไหลเปลี่ยนแปลงมาก และค่าความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงมาก ส่วนของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดัน เป็นของไหลชนิดที่เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง ปริมาตรของของไหลเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และค่าความหนาแน่นคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

## 6.2 การเรียนรู้

- 6.2.1 หนังสือเรียน วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ของสำนักพิมพ์เอ็มแพนธ์
- 6.2.2 สื่ออิเล็กทรอนิกส์ และ Power Point
- 6.2.3 กิจกรรมการเรียนการสอน
- 6.2.4 รูปภาพประกอบ
- 6.2.5 แบบหุ่นจำลอง

## 6.3 การสรุป

- 6.3.1 สรุปบทเรียนส่วนที่เป็นสาระสำคัญ

## 6.4 การวัดและประเมินผล

- 6.4.1 สังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
- 6.4.2 กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้
- 6.4.3 แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้
- 6.4.4 แบบประเมินผลการปฏิบัติงานและแบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม

## 7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

1. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเพื่อแสดงให้ผู้เรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับองศาเอพ็ไธ องศาเอพ็ไธ กำหนดขึ้นจากสถาบันปิโตรเลียมของอเมริกา โดยค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันปิโตรเลียมมีค่าเป็นจุดศุนยนิคมมาก ซึ่งมีความยุ่งยากจึงมีการตั้งค่าความถ่วงจำเพาะขึ้นในหน่วยใหม่ เรียกว่า องศาเอพ็ไธ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{องศา API} = \left[ \frac{141.5}{\text{ความถ่วงจำเพาะของของไหลที่ } 60^{\circ}\text{F}} \right] - 131.5$$

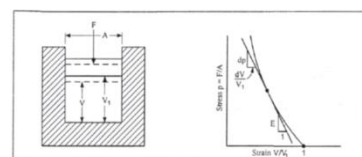
ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบความถ่วงจำเพาะ และองศาเอพ็ไธ

| ชนิดของเหลว             | ความถ่วงจำเพาะ | องศา API |
|-------------------------|----------------|----------|
| น้ำกลั่น                | 1.00           | 10       |
| น้ำมันก๊าด              | 0.840-0.820    | 36-40    |
| น้ำมันหล่อลื่น เบอร์ 30 | 0.882-0.865    | 29-32    |

2. ผู้เรียนอธิบายเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างของไหลที่ยุบตัวความดันกับของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดัน คือของไหลที่ยุบตัวความดัน เป็นของไหลชนิดที่เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง ปริมาตรของของไหลเปลี่ยนแปลงมาก และค่าความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงมาก ส่วนของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดัน เป็นของไหลชนิดที่เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง ปริมาตรของของไหลเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และค่าความหนาแน่นคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

2. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายและการคำนวณความยืดหยุ่น

ความยืดหยุ่น หมายถึง ของไหลทุกชนิดถูกอัดตัว จะทำให้เกิดพลังงานหยุ่นขึ้นภายในตัว ถ้าการเปลี่ยนรูปของพลังงานเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ของไหลที่ยุบตัวลงนั้นจะขยายตัวกลับไปมีปริมาตรดั้งเดิม ดังรูป



พิจารณากระบอกสูบที่ทำด้วยของแข็ง ไม่มีการยืดหรือหดตัว ภายในบรรจุด้วยของไหล ปริมาตร  $v_1$  ภายหลังมีการอัดลูกสูบด้วยแรง ทำให้เกิดความดัน และปริมาตรของของไหลในกระบอกสูบลดลง สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$E = \frac{-VdP}{dV}$$

3. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายและการคำนวณความหนาแน่น  
ความหนาแน่นของสารใด ๆ หมายถึง มวลสารนั้นต่อหน่วยปริมาตรของสารนั้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นของสารใด ๆ} = \frac{\text{มวลสารนั้น}}{\text{ปริมาตรของสารนั้น}}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

โดย  $\rho$  = ความหนาแน่นของสาร ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $m$  = มวลของสารนั้น ( $\text{kg}$ )  
 $V$  = ปริมาตรของสารนั้น ( $\text{m}^3$ )

4. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายและการคำนวณน้ำหนักจำเพาะ  
น้ำหนักจำเพาะของสารใด ๆ หมายถึง แรงที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก ซึ่งกระทำกับของไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{น้ำหนักจำเพาะของสารใด ๆ} = \frac{\text{แรงที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก}}{\text{ปริมาตรของสารนั้น}}$$

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

โดย  $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของสาร ( $\text{N/m}^3$ )  
 $W$  = แรงที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก ( $\text{N}$ )  
 $V$  = ปริมาตรของสารนั้น ( $\text{m}^3$ )

5. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายและการคำนวณปริมาตรจำเพาะ  
ปริมาตรจำเพาะของสารใด ๆ หมายถึง ปริมาตรของสารนั้นต่อหนึ่งหน่วยของมวลสาร

$$v = \frac{V}{m}$$

โดย  $v$  = ปริมาตรจำเพาะของสาร ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )  
 $V$  = ปริมาตรของสารนั้น ( $\text{m}^3$ )  
 $m$  = มวลของสารนั้น ( $\text{kg}$ )

6. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายและการคำนวณความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของสารใด ๆ หมายถึง อัตราส่วนของมวลสารของสารนั้น ต่อมวลของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน หรืออัตราส่วนของความหนาแน่นของสารนั้น ต่อความหนาแน่นของน้ำ สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$S = \frac{m_{\text{สาร}}}{m_{\text{น้ำ}}} = \frac{\rho_{\text{สาร}}}{\rho_{\text{น้ำ}}} = \frac{\gamma_{\text{สาร}}}{\gamma_{\text{น้ำ}}}$$

โดย  $S$  = ความถ่วงจำเพาะของสาร  
 $m_{\text{สาร}}$  = มวลของสาร (kg)  
 $m_{\text{น้ำ}}$  = มวลของน้ำ (kg)  
 $\rho_{\text{สาร}}$  = ความหนาแน่นของสาร (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\rho_{\text{น้ำ}}$  = ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\gamma_{\text{สาร}}$  = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (N/m<sup>3</sup>)  
 $\gamma_{\text{น้ำ}}$  = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (N/m<sup>3</sup>)

7. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับสมการบอกสถานะของก๊าซอุดมคติ

จากการทดลองของบอยล์และชาร์ลได้จัดเงื่อนไขของสภาวะตัวหนึ่งในสามตัว คือ ความดัน ปริมาตร และ อุณหภูมิ มีค่าคงที่ ในขณะที่เดียวกันจะได้กฎแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอีกสองตัว จะพิจารณาในลักษณะที่ก๊าซเปลี่ยนสภาวะโดยไม่มีตัวใด คือ ความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิ มีค่าคงที่ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$PV = nRT$$

8. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายและการคำนวณความหนืด

ความหนืดของของไหลใด ๆ หมายถึง ค่าความต้านทานต่อการเฉือนในเนื้อของของไหล ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

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

โดย  $F$  = แรงกระทำภายนอก (N)  
 $\mu$  = สัมประสิทธิ์ความหนืด N/m<sup>2</sup> · s = Pa · s  
 $A$  = พื้นที่ผิว (m<sup>2</sup>)  
 $v$  = ความเร็วของการเคลื่อนที่ (m/s)  
 $y$  = ระยะห่างระหว่างชั้นงานที่จะสัมผัสกัน (m)

9. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายและการคำนวณความตึงผิว

ความตึงผิวของของเหลว หมายถึง การเกิดปรากฏการณ์ขึ้นที่ผิวของของเหลว ผิวอิสระของเหลวกับอากาศ แรงดึงดูดขึ้นกับแรงดึงดูดในของเหลวไม่เท่ากัน มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ แรงตึงผิวมีค่าน้อยลง เมื่ออุณหภูมินั้นสูงขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

แรงที่ดึงของเหลวขึ้นในหลอดแก้วปลายเปิด = น้ำหนักของของเหลวภายในหลอดแก้ว  
 ปลายเปิด

$$(2\pi r \sigma) \cos \theta = \pi r^2 h \gamma$$

$$\sigma \pi d (\cos \theta) = \gamma \frac{\pi d^2}{4} \cdot h$$

$$h = \frac{4\sigma \cos \theta}{\gamma d}$$

- โดย  $h$  = ความสูงของของเหลวภายในหลอดแก้วที่สูง หรือต่ำกว่าระดับของของเหลวภายนอกหลอดแก้ว (mm)  
 $\sigma$  = แรงตึงผิว มีหน่วยเป็น แรงต่อหน่วยความยาว (N/m)  
 $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของของเหลว ( $\text{N/m}^3$ )  
 $d$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดแก้ว  
 $\theta$  = มุมที่ของเหลวสัมผัสกับหลอดแก้ว เนื่องจากแรงตึงผิว (เป็นองศา)

ตารางที่ 1.2 แรงตึงผิวของน้ำ

| อุณหภูมิ<br>°C | แรงตึงผิว<br>mN/m |
|----------------|-------------------|
| 0              | 75.6              |
| 10             | 74.2              |
| 20             | 72.8              |
| 30             | 71.2              |
| 40             | 69.6              |
| 60             | 66.2              |
| 80             | 62.6              |
| 100            | 58.9              |

10. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายของความดันไอ  
 ความดันไอ หมายถึง ของเหลวที่กลายเป็นไอได้โดยการให้ความร้อนแก่ของเหลวนั้น และมีความดันเกิดขึ้นได้ ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ถ้าความดันเหนือผิวของของเหลวมีค่าต่ำกว่าความดันไออิ่มตัวของเหลวจะกลายเป็นไอ
11. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับหน่วยที่ใช้ในกลศาสตร์ของไหล

| คุณสมบัติของของไหล          | หน่วย SIUNITS                             |
|-----------------------------|-------------------------------------------|
| ความหนาแน่น, $\rho$         | $\text{kg/m}^3$                           |
| น้ำหนักจำเพาะ, $\gamma$     | $\text{N/m}^3$                            |
| ปริมาตรจำเพาะ, $v$          | $\text{m}^3/\text{kg}$                    |
| ความถ่วงจำเพาะ, $s$         | -                                         |
| ค่าคงที่ของก๊าซ, $R$        | $\text{J/kgK}$                            |
| สัมประสิทธิ์ความหนืด, $\mu$ | $\text{Ns} = \text{Pa.s}$<br>$\text{m}^2$ |
| แรงตึงผิว, $\sigma$         | $\text{N/m}$                              |
| ความเร็ว, $v$               | $\text{m/s}$                              |
| อัตราเร่ง, $a$              | $\text{m/s}^2$                            |

## 8. หลักฐานการเรียนรู้

### 8.1 หลักฐานความรู้

1. เอกสารรับรองจากการทดสอบความรู้

### 8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน

1. แบบบันทึกความคิดเห็นของครูผู้สอน
2. แบบรับรองการปฏิบัติงานจากสถานประกอบการ
3. แบบบันทึกรายการจากการสังเกตจากการปฏิบัติงาน

## 9. การวัดและประเมินผล

### 9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน

1. วางแผนและเตรียมความพร้อมในการใช้ความรู้เบื้องต้นคุณสมบัติของการไหล
2. สรุปผลการวางแผนช่องทางการใช้ความรู้เบื้องต้นคุณสมบัติของการไหล

### 9.2 วิธีการประเมิน

1. พิจารณาหลักฐานความรู้
2. พิจารณาหลักฐานการปฏิบัติงาน

### 9.3 เครื่องมือประเมิน

1. แบบทดสอบก่อนเรียน
2. ใบความรู้ที่ 1
3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

## 10. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

### 10.1 ข้อสรุปหลังการจัดการเรียนรู้

---

---

---

### 10.2 ปัญหาที่พบ

---

---

---

### 10.3 แนวทางแก้ปัญหา

---

---

---

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบความรู้ ที่ 1                                           | หน่วยที่ ... 1               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 1-3              |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ คุณสมบัติของการไหล                   | ทฤษฎี 9 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง                                                                        |                                                           |                              |

# 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

## 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

## 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 แสดงความรู้เบื้องต้นของคุณสมบัติของการไหล

## 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายคำจำกัดความของคุณสมบัติต่าง ๆ ของการไหลได้ถูกต้อง

4.2 บอกหน่วยที่ใช้ในคำจำกัดความของคุณสมบัติต่าง ๆ ของของไหลได้ถูกต้อง

4.3 คำนวณหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของของไหลได้ถูกต้อง

## 5. เนื้อหาสาระ

**กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics)** หมายถึง ของเหลวและก๊าซที่สามารถไหลได้โดยของเหลว ถ้าความดันเปลี่ยนไปจะทำให้ปริมาตร และความหนาแน่นเปลี่ยนไปเล็กน้อย เรียกของเหลวนี้นว่า ไม่ยุบตัว (Incompressible Fluid) ส่วนของก๊าซเมื่อความดันเปลี่ยนไป จะทำให้ปริมาตรและความหนาแน่นเปลี่ยนไปมาก เรียกของเหลวนี้นว่า ยุบตัวได้ (Compressible Fluid)

**ของไหล (Fluid)** หมายถึง สสารที่สามารถไหลได้โดยมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุ ขณะอยู่ในสภาพสมดุลของไหลไม่สามารถรับแรงเฉือนได้ ของไหลทุกชนิดจะยุบตัวตามความกดดันได้เล็กน้อย แบ่งออกได้ดังนี้

### 1. ของไหลที่ยุบตัวตามความดัน (Compressible Fluid)

ของไหลที่ยุบตัวตามความดัน หมายถึง ของไหลชนิดที่เมื่อความดันเปลี่ยนแปลงปริมาตรของของไหลเปลี่ยนแปลงมาก และค่าความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงมาก เช่น ก๊าซ จัดว่าเป็นของไหลยุบตัวตามความดัน

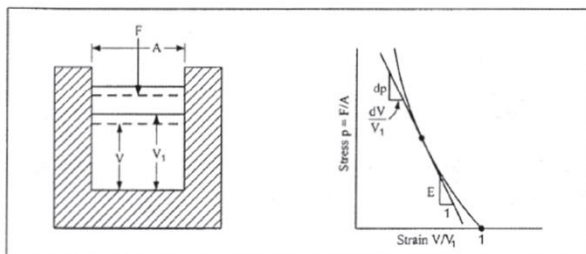
### 2. ของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดัน (Incompressible Fluid)

ของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดัน หมายถึง ของไหลชนิดที่เมื่อความดันเปลี่ยนแปลงปริมาตรของไหลเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และค่าความหนาแน่นคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เช่น ของเหลว จัดว่าเป็นของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดัน

**องศาเอพีไอ (API)** กำหนดขึ้นจากสถาบันปิโตรเลียมของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันปิโตรเลียมมีค่าเป็นจุดทศนิยมมาก ซึ่งมีความยุ่งยากจึงมีการตั้งค่าความถ่วงจำเพาะขึ้นในหน่วยใหม่ เรียกว่า องศาเอพีไอ โดยกำหนดว่าของไหลที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.076 ที่ 60 °F มีค่า องศา API = 0 และน้ำมีความถ่วงจำเพาะ 1.000 ที่ 60 °F มีค่าองศา API = 10 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างองศา API และค่าความถ่วงจำเพาะ ดังนี้

$$\text{องศา API} = \left( \frac{141.5}{\text{ความถ่วงจำเพาะของของไหลที่ } 60^\circ\text{F}} \right) - 131.5$$

**ความหยุ่น (Elasticity)** หมายถึงของไหลทุกชนิดถูกอัดตัวทำให้เกิดพลังงานหยุ่น (Elastic Energy) ขึ้นภายในตัว ถ้าการเปลี่ยนรูปของพลังงานเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ของไหลที่ยุบจะขยายตัวกลับไปมีปริมาตรดังเดิม เรียกว่า Modulus of Elasticity



พิจารณากระบอกสูบที่ทำด้วยของแข็ง ไม่มีการยืดหรือหดตัว ภายในบรรจุด้วยของไหล ปริมาตร  $V_1$  ภายหลังมีการอัดลูกสูบด้วยแรง  $F$  ทำให้เกิดความดัน  $P$  ละทำให้ปริมาตรของของไหลในกระบอกสูบลดลง เขียนเป็นกราฟอยู่ในรูปความดัน และอัตราการยุบตัว  $V/V_1$  จะได้กราฟ Modulus of Elasticity

$$\frac{-dP}{dV/V}$$

$$\frac{-VdP}{dV}$$

### ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของสารใด ๆ หมายถึง มวลสารนั้นต่อหน่วยปริมาตรของสารนั้น

$$\frac{\text{ความหนาแน่นของสารใด ๆ}}{\text{มวลสารนั้น}} = \frac{\text{มวลสารนั้น}}{\text{ปริมาตรของสารนั้น}}$$

โดย

|        |   |                                       |
|--------|---|---------------------------------------|
| $\rho$ | = | ความหนาแน่นของสาร ( $\text{kg/m}^3$ ) |
| $m$    | = | มวลของสารนั้น ( $\text{kg}$ )         |
| $v$    | = | ปริมาตรของสารนั้น ( $\text{m}^3$ )    |

### น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight)

น้ำหนักจำเพาะของสารใด ๆ หมายถึง แรงที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก ซึ่งกระทำกับของไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

$$\frac{\text{น้ำหนักจำเพาะของสารใด ๆ}}{\text{ปริมาตรของสารนั้น}} = \frac{\text{แรงที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก}}{\text{ปริมาตรของสารนั้น}}$$

$$\gamma =$$

โดย

|          |   |                                             |
|----------|---|---------------------------------------------|
| $\gamma$ | = | น้ำหนักจำเพาะของสาร ( $\text{N/m}^3$ )      |
| $w$      | = | แรงที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก ( $\text{N}$ ) |
| $v$      | = | ปริมาตรของสารนั้น ( $\text{m}^3$ )          |

### ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume)

ปริมาตรจำเพาะของสารใด ๆ หมายถึง ปริมาตรของสารนั้นต่อหนึ่งหน่วยของมวลสาร

$$\frac{V}{m}$$

โดย  $v =$  ปริมาตรจำเพาะของสาร ( $m^3/kg$ )

$V =$  ปริมาตรของสารนั้น ( $m^3$ )

$m =$  มวลของสารนั้น ( $kg$ )

### ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ความถ่วงจำเพาะของสารใด ๆ หมายถึง อัตราส่วนของมวลสารของสารนั้น ต่อมวลของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน หรืออัตราส่วนของความหนาแน่นของสารนั้นต่อความหนาแน่นของน้ำหรืออัตราส่วนของน้ำหนักจำเพาะของสารนั้นต่อน้ำหนักจำเพาะของน้ำ

$$\frac{m_{\text{สาร}}}{m_{\text{น้ำ}}} = \frac{\rho_{\text{สาร}}}{\rho_{\text{น้ำ}}} = \frac{Y_{\text{สาร}}}{Y_{\text{น้ำ}}}$$

โดย

$S =$  ความถ่วงจำเพาะของสาร  $\rho_{\text{สาร}} =$  ความหนาแน่นของสาร ( $kg/m^3$ )

$m_{\text{สาร}} =$  มวลของสาร ( $kg$ )  $\rho_{\text{น้ำ}} =$  ความหนาแน่นของสาร ( $kg/m^3$ )

$m_{\text{น้ำ}} =$  มวลของน้ำ ( $kg$ )  $Y_{\text{สาร}} =$  น้ำหนักจำเพาะของน้ำ ( $N/m^3$ )

$Y_{\text{น้ำ}} =$  น้ำหนักจำเพาะของน้ำ ( $N/m^3$ )

### สมการบอกสถานะของก๊าซอุดมคติ (Characteristic Equation of Perfect Gas)

จากการทดลองของบอยล์และชาร์ลได้จัดเงื่อนไขของสภาวะตัวหนึ่งในสามตัว คือ ความดัน ปริมาตร และ อุณหภูมิ มีค่าคงที่ ในขณะที่เดียวกันก็จะได้กฎแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอีกสองตัว จะพิจารณาในลักษณะที่ก๊าซเปลี่ยนสภาวะโดยไม่มีตัวใด คือ ความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิ มีค่าคงที่ โดยก๊าซมีความดัน  $P_1$  ปริมาตร  $V_1$  และอุณหภูมิ  $T_1$  แล้วปล่อยให้ก๊าซเปลี่ยนสภาวะสุดท้ายเป็น  $P_2$   $V_2$  และ  $T_2$  จากกฎของบอยล์และกฎของชาร์ลจะบอกความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ คือ

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

### ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของของเหลวใดๆ หมายถึง ค่าความต้านทานต่อการเฉือนในเนื้อของของไหล

|     |       |   |                                                   |
|-----|-------|---|---------------------------------------------------|
| โดย | F     | = | แรงกระทำภายนอก (N)                                |
|     | $\mu$ | = | สัมประสิทธิ์ความหนืด $N/m^2 \cdot S = Pa \cdot S$ |
|     | A     | = | พื้นที่ผิว ( $m^2$ )                              |
|     | v     | = | ความเร็วของการเคลื่อนที่ (m/s)                    |
|     | y     | = | ระยะห่างระหว่างชั้นงานที่จะสัมผัสกัน (m)          |

## 6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

### แบบฝึกหัดที่ 1 คุณสมบัติของการไหล

1. ความหนาแน่นของสาร หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

2. น้ำหนักจำเพาะของสาร หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

3. ปริมาตรจำเพาะของสาร หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

4. ความถ่วงจำเพาะของสาร หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

5. สูตรสมการสถานะของก๊าซอุดมคติ คืออะไร

.....

.....

.....

6. ความหนืดของของไหล หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

7. ความตึงผิวของของเหลว หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

8. ความดันไอ หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

9. Incompressible Fluid หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

10. Compressible Fluid หมายถึงอะไร

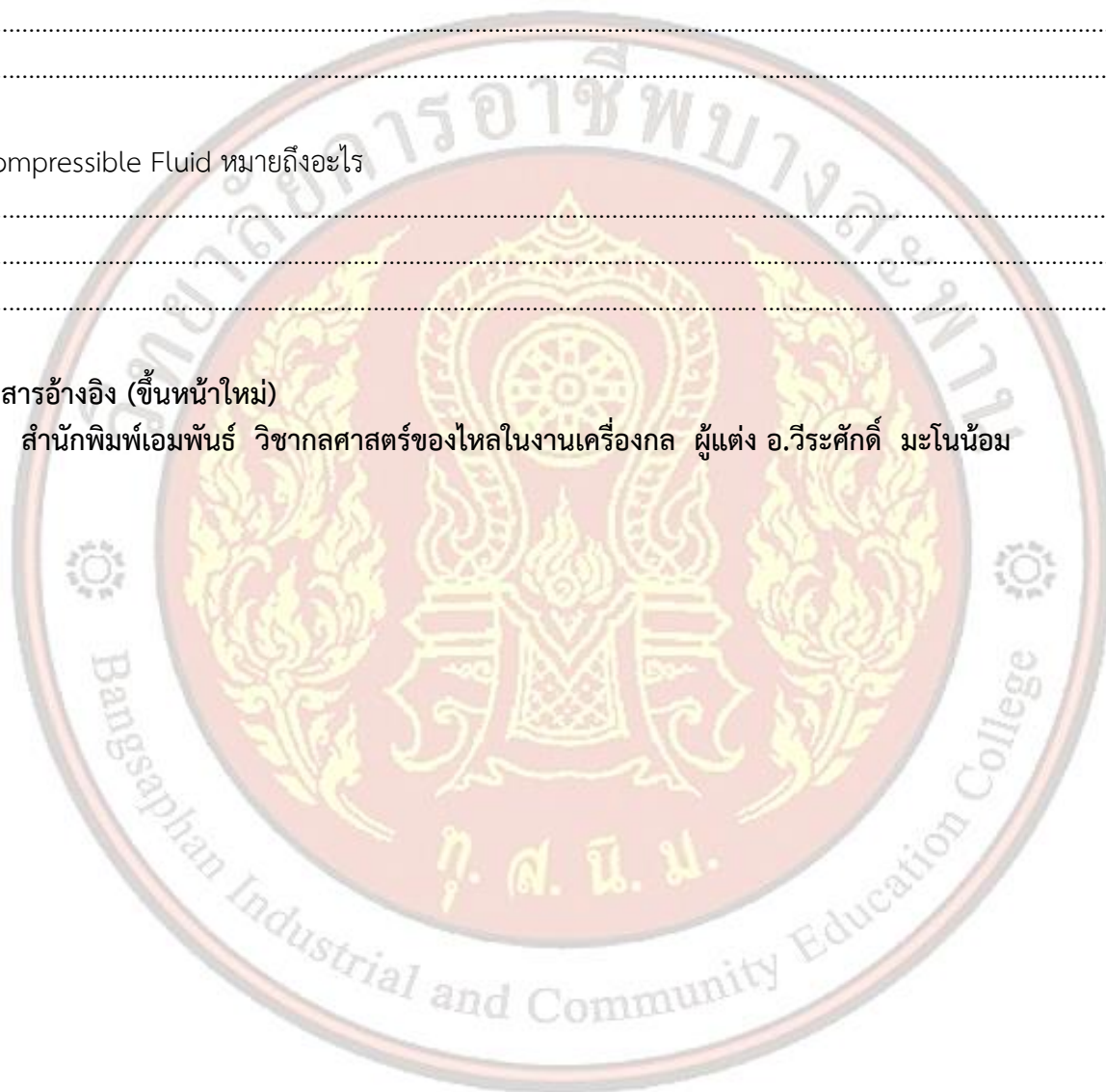
.....

.....

.....

7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

สำนักพิมพ์เอ็มพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม



## 8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

### เฉลยแบบฝึกหัดที่ คุณสมบัติของการไหล

#### 1. ความหนาแน่นของสาร หมายถึงอะไร

ความหนาแน่นของสาร หมายถึง มวลสารนั้นต่อหน่วยปริมาตรของสารนั้น

#### 2. น้ำหนักจำเพาะของสาร หมายถึงอะไร

น้ำหนักจำเพาะของสาร หมายถึง แรงที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก ซึ่งกระทำกับของไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

#### 3. ปริมาตรจำเพาะของสาร หมายถึงอะไร

ปริมาตรจำเพาะของสาร หมายถึง ปริมาตรของสารนั้นต่อหนึ่งหน่วยของมวลสาร

#### 4. ความถ่วงจำเพาะของสาร หมายถึงอะไร

ความถ่วงจำเพาะของสาร หมายถึง อัตราส่วนของมวลสารของสารนั้น ต่อมวลของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน หรือ อัตราส่วนของความหนาแน่นของสารนั้น ต่อความหนาแน่นของน้ำหรืออัตราส่วนของน้ำหนักจำเพาะของน้ำ

#### 5. สูตรสมการสถานะของก๊าซอุดมคติ คืออะไร

$$PV = mRT$$

โดยค่า R เป็นค่าคงที่ของก๊าซ (Gas Constant) R ของอากาศมีค่าเท่ากับ 287 J/kg .K

#### 6. ความหนืดของของไหล หมายถึงอะไร

ความหนืดของของไหล หมายถึง ค่าความต้านทานต่อการเฉือนในเนื้อของของไหล

#### 7. ความตึงผิวของของเหลว หมายถึงอะไร

ความตึงผิวของของเหลว หมายถึง การเกิดปรากฏการณ์ขึ้นที่ผิวของของเหลว ผิวอิสระของเหลวกับอากาศ แรงตึงขึ้นกับแรงดึงดูดในของเหลวมีค่าไม่เท่ากัน มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิจึงผิวมีค่าน้อยลง เมื่ออุณหภูมิของเหลวนั้นสูงขึ้น

#### 8. ความดันไอ หมายถึงอะไร

ความดันไอ หมายถึง ของเหลวที่กลายเป็นไอได้โดยการให้ความร้อนแก่ของเหลวนั้น และมีความดันเกิดขึ้นได้ ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ถ้าความดันเหนือผิวของของเหลวมีค่าต่ำกว่าความดันไออิ่มตัวของเหลวจะกลายเป็นไอ

#### 9. Incompressible Fluid หมายถึงอะไร

Incompressible Fluid หมายถึง ของไหลชนิดที่เมื่อความดันเปลี่ยนแปลงปริมาตรของของไหลเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และค่าความหนาแน่นคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

#### 10. Compressible Fluid หมายถึงอะไร

Compressible Fluid หมายถึง ของไหลชนิดที่เมื่อความดันเปลี่ยนแปลงปริมาตรของของไหลเปลี่ยนแปลงมาก และค่าความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงมาก เช่น ก๊าซ จัดว่าเป็นของไหลยุบตัวตามความดัน

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบงาน ที่ 1                                               | หน่วยที่ ... 1               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 1-3              |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ คุณสมบัติของการไหล                   | ทฤษฎี 9 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง                                                                        |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เบื้องต้นของคุณสมบัติของการไหล

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายคำจำกัดความของคุณสมบัติต่างๆ ของการไหลให้ถูกต้อง
- 4.2. บอกหน่วยที่ใช้ในจำกัดความของคุณสมบัติต่างๆ ของของไหลได้ถูกต้อง
- 4.3. คำนวณค่าคุณสมบัติต่างๆ ของของไหลได้ถูกต้อง

### 5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

1. แบบทดสอบก่อนเรียน
2. ใบความรู้ที่ 1
3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

### 6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

ไม่มี

### 7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

#### ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. นำเข้าสู่บทเรียน โดยใช้คำถามนำเข้า เช่น
  - ของไหลที่ยุบตัวความดันแตกต่างกับของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดันอย่างไร
  - อองศาเอพฟ์ไอหมายถึงอะไร

2. ผู้เรียนอธิบายเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างของไหลที่ยุบตัวความดันกับของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดัน คือ ของไหลที่ยุบตัวความดัน เป็นของไหลชนิดที่เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง ปริมาตรของของไหลเปลี่ยนแปลงมาก และค่าความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงมาก ส่วนของไหลที่ไม่ยุบตัวตามความดัน เป็นของไหลชนิดที่เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง ปริมาตรของของไหลเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และค่าความหนาแน่นคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

#### ขั้นสอน

1. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเพื่อแสดงให้ผู้เรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับอองศาเอพฟ์ไอ

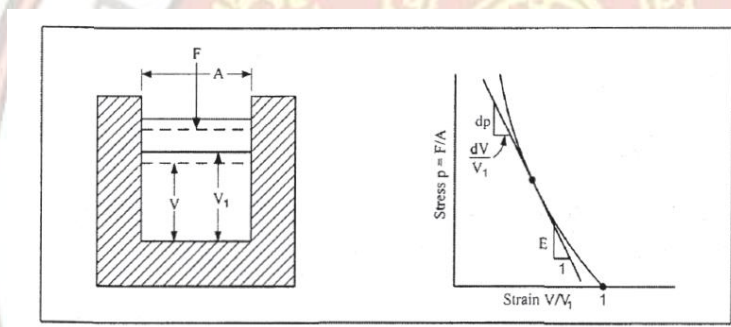
อองศาเอพฟ์ไอ กำหนดขึ้นจากสถาบันปิโตรเลียมของอเมริกา โดยค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันปิโตรเลียมมีค่าเป็นจุดทศนิยมมาก ซึ่งมีความยุ่งยากจึงมีการตั้งค่าความถ่วงจำเพาะขึ้นในหน่วยใหม่ เรียกว่า อองศาเอพฟ์ไอ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{องศา API} = \left[ \frac{141.5}{\text{ความถ่วงจำเพาะของของไหลที่ } 60^\circ\text{F}} \right] - 131.5$$

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบความถ่วงจำเพาะ และองศาเอพีไอ

| ชนิดของเหลว             | ความถ่วงจำเพาะ | องศา API |
|-------------------------|----------------|----------|
| น้ำกลั่น                | 1.00           | 10       |
| น้ำมันก๊าด              | 0.840-0.820    | 36-40    |
| น้ำมันหล่อลื่น เบอร์ 30 | 0.882-0.865    | 29-32    |

2. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายและการคำนวณความยืดหยุ่น ความยืดหยุ่น หมายถึง ของไหลทุกชนิดถูกอัดตัว จะทำให้เกิดพลังงานหยุ่นขึ้นภายในตัว ถ้าการเปลี่ยนรูปของพลังงานเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ของไหลที่ถูกตัวลงนั้นจะขยายตัวกลับไปที่ปริมาตรดั้งเดิม ดังรูป



พิจารณากระบอกสูบที่ทำด้วยของแข็ง ไม่มีการยืดหรือหดตัว ภายในบรรจุด้วยของไหล ปริมาตร  $V_1$  ภายหลังมีการอัดลูกสูบด้วยแรง ทำให้เกิดความดัน และปริมาตรของของไหลในกระบอกสูบลดลง สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$E = \frac{-V dp}{dV}$$

3. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายและการคำนวณความหนาแน่น ความหนาแน่นของสารใด ๆ หมายถึง มวลสารนั้นต่อหน่วยปริมาตรของสารนั้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

4. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายและการคำนวณน้ำหนักจำเพาะ

น้ำหนักจำเพาะของสารใด ๆ หมายถึง แรงที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก ซึ่งกระทำกับของไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นของสารใด ๆ} = \frac{\text{มวลสารนั้น}}{\text{ปริมาตรของสารนั้น}}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

โดย  $\rho$  = ความหนาแน่นของสาร ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $m$  = มวลของสารนั้น ( $\text{kg}$ )  
 $V$  = ปริมาตรของสารนั้น ( $\text{m}^3$ )

$$\text{น้ำหนักจำเพาะของสารใด ๆ} = \frac{\text{แรงที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก}}{\text{ปริมาตรของสารนั้น}}$$

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

โดย  $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของสาร ( $\text{N/m}^3$ )  
 $W$  = แรงที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก ( $\text{N}$ )  
 $V$  = ปริมาตรของสารนั้น ( $\text{m}^3$ )

5. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายและการคำนวณปริมาตรจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะของสารใด ๆ หมายถึง ปริมาตรของสารนั้นต่อหนึ่งหน่วยของมวลสาร

$$v = \frac{V}{m}$$

โดย  $v$  = ปริมาตรจำเพาะของสาร ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )  
 $V$  = ปริมาตรของสารนั้น ( $\text{m}^3$ )  
 $m$  = มวลของสารนั้น ( $\text{kg}$ )

6. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายและการคำนวณความถ่วงจำเพาะ ความถ่วงจำเพาะของสารใด ๆ หมายถึง อัตราส่วนของมวลสารของสารนั้น ต่อมวลของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน หรืออัตราส่วนของความหนาแน่นของสารนั้น ต่อความหนาแน่นของน้ำ สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$S = \frac{m_{\text{สาร}}}{m_{\text{น้ำ}}} = \frac{\rho_{\text{สาร}}}{\rho_{\text{น้ำ}}} = \frac{\gamma_{\text{สาร}}}{\gamma_{\text{น้ำ}}}$$

โดย  $S$  = ความถ่วงจำเพาะของสาร  
 $m_{\text{สาร}}$  = มวลของสาร ( $\text{kg}$ )  
 $m_{\text{น้ำ}}$  = มวลของน้ำ ( $\text{kg}$ )  
 $\rho_{\text{สาร}}$  = ความหนาแน่นของสาร ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $\rho_{\text{น้ำ}}$  = ความหนาแน่นของน้ำ ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $\gamma_{\text{สาร}}$  = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ ( $\text{N/m}^3$ )  
 $\gamma_{\text{น้ำ}}$  = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ ( $\text{N/m}^3$ )

7. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับสมการบอกสถานะของก๊าซอุดมคติ

จากการทดลองของบอยล์และชาร์ลได้จัดเงื่อนไขของสถานะตัวหนึ่งในสามตัว คือ ความดัน ปริมาตร และ อุณหภูมิ มีค่าคงที่ ในขณะที่เดียวกันจะได้กฎแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอีกสองตัว จะพิจารณาในลักษณะที่ก๊าซเปลี่ยนสถานะโดยไม่มีตัวใด คือ ความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิ มีค่าคงที่ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$PV = mRT$$

8. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายและการคำนวณความหนืด ความหนืดของของไหลใด ๆ หมายถึง ค่าความต้านทานต่อการเฉือนในเนื้อของของไหล ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

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

โดย  $F$  = แรงกระทำภายนอก (N)  
 $\mu$  = สัมประสิทธิ์ความหนืด  $N/m^2 \cdot s = Pa \cdot s$   
 $A$  = พื้นที่ผิว ( $m^2$ )  
 $v$  = ความเร็วของการเคลื่อนที่ (m/s)  
 $y$  = ระยะห่างระหว่างชั้นงานที่จะสัมผัสกัน (m)

9. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายและการคำนวณความตึงผิว ความตึงผิวของของเหลว หมายถึง การเกิดปรากฏการณ์ขึ้นที่ผิวของของเหลว ผิวอิสระของเหลวกับอากาศ แรงตึงขึ้นกับแรงตึงลงในของเหลวไม่เท่ากัน มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ แรงตึงผิวมีค่าลดน้อยลง เมื่ออุณหภูมินั้นสูงขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

แรงที่ตึงของเหลวขึ้นในหลอดแก้วปลายเปิด = น้ำหนักของของเหลวภายในหลอดแก้วปลายเปิด

$$\begin{aligned} (2\pi r\sigma) \cos\theta &= \pi r^2 h \gamma \\ \sigma \pi d (\cos\theta) &= \gamma \frac{\pi d^2 \cdot h}{4} \end{aligned}$$

$$h = \frac{4\sigma \cos\theta}{\gamma d}$$

โดย  $h$  = ความสูงของของเหลวภายในหลอดแก้วที่สูงหรือต่ำกว่าระดับของของเหลวภายนอกหลอดแก้ว (mm)  
 $\sigma$  = แรงตึงผิว มีหน่วยเป็น แรงต่อหน่วยความยาว (N/m)  
 $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของของเหลว ( $N/m^3$ )  
 $d$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดแก้ว  
 $\theta$  = มุมที่ของเหลวสัมผัสกับหลอดแก้ว เนื่องจากแรงตึงผิว (เป็นองศา)

ตารางที่ 1.2 แรงตึงผิวของน้ำ

| อุณหภูมิ<br>°C | แรงตึงผิว<br>mN/m |
|----------------|-------------------|
| 0              | 75.6              |
| 10             | 74.2              |
| 20             | 72.8              |
| 30             | 71.2              |
| 40             | 69.6              |
| 60             | 66.2              |
| 80             | 62.6              |
| 100            | 58.9              |

10. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความหมายของความดันไอ

ความดันไอ หมายถึง ของเหลวที่กลายเป็นไอได้โดยการให้ความร้อนแก่ของเหลวนั้น และมีความดันเกิดขึ้นได้ ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ถ้าความดันเหนือผิวของของเหลวมีค่าต่ำกว่าความดันไออิ่มตัวของเหลวจะกลายเป็นไอ

11. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับหน่วยที่ใช้ในกลศาสตร์ของไหล

| คุณสมบัติของของไหล          | หน่วย SI UNITS                |
|-----------------------------|-------------------------------|
| ความหนาแน่น, $\rho$         | kg/m <sup>3</sup>             |
| น้ำหนักจำเพาะ, $\gamma$     | N/m <sup>3</sup>              |
| ปริมาตรจำเพาะ, $v$          | m <sup>3</sup> /kg            |
| ความถ่วงจำเพาะ, $s$         | -                             |
| ค่าคงที่ของก๊าซ, $R$        | J/kgK                         |
| สัมประสิทธิ์ความหนืด, $\mu$ | $\frac{Ns}{m^2} = Pa \cdot s$ |
| แรงตึงผิว, $\sigma$         | N/m                           |
| ความเร็ว, $v$               | m/s                           |
| อัตราเร่ง, $a$              | m/s <sup>2</sup>              |

## ขั้นสรุป

1. ครูและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาที่เรียน
2. ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด

## 8. สรุปและวิจารณ์ผล

คุณสมบัติการไหลของของไหล จำเป็นอย่างยิ่งต้องศึกษาให้เข้าใจเกี่ยวกับคำจำกัดความต่าง ๆ เช่น ความหนาแน่น น้ำหนักจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะ ความถ่วงจำเพาะ สมการบอกสถานะของก๊าซ อุดมคติ ความหนืด ความตึงผิว และความดันไอ ซึ่งเป็นพื้นฐานในวิชากลศาสตร์ของไหล เพื่อนำไปใช้ในหัวข้ออื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี

## 9. การประเมินผล

1. เกณฑ์ผ่านการสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
2. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้ มีเกณฑ์ผ่าน 50%

## 10. เอกสารอ้างอิง/เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

**แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 1**  
**รายวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล รหัสวิชา 30101-2001**  
**เรื่อง คุณสมบัติของการไหล**

ชื่อ.....สกุล.....ระดับชั้น.....สาขาวิชา.....กลุ่ม.....

| ลำดับที่ | หัวข้อการประเมิน                                        | ระดับคะแนน |   |   |   |   | หมายเหตุ |
|----------|---------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|----------|
|          |                                                         | 5          | 4 | 3 | 2 | 1 |          |
| 1        | ด้านคุณธรรม จริยธรรม<br>เข้าเรียนตรงต่อเวลา             |            |   |   |   |   |          |
| 2        | มีวินัย และแต่งกายถูกระเบียบ                            |            |   |   |   |   |          |
| 3        | มีความมุ่งมั่น และตั้งใจปฏิบัติงาน                      |            |   |   |   |   |          |
| 4        | มีการทำงานร่วมกับผู้อื่น หรือเป็นทีม                    |            |   |   |   |   |          |
| 5        | ส่งงานในเวลาที่กำหนด                                    |            |   |   |   |   |          |
| 6        | ด้านทักษะการปฏิบัติงาน<br>การปฏิบัติงานเป็นไปตามขั้นตอน |            |   |   |   |   |          |
| 7        | แบบงานมีความประณีต และสวยงาม                            |            |   |   |   |   |          |
| 8        | แบบงานถูกต้องตามหลักวิชาการ                             |            |   |   |   |   |          |
| 9        | ปฏิบัติงานเสร็จสิ้นตามเวลาที่กำหนด                      |            |   |   |   |   |          |
| 10       | มีสุขภาพดีของความปลอดภัย                                |            |   |   |   |   |          |
|          | รวมคะแนน                                                |            |   |   |   |   |          |

สรุปผลการประเมิน ผ่าน ไม่ผ่าน คะแนนที่ได้.....

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน  
 (.....)  
 ...../...../.....

**แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล**  
**หน่วยที่ 1 เรื่อง คุณสมบัติของการไหล**

**คำชี้แจง** ให้ทำเครื่องหมาย ✓ และหากผู้เรียนมีพฤติกรรมนั้น ลงในช่องรายการ

| ที่ | ชื่อ-นามสกุล | การแสดงพฤติกรรมของผู้เรียนในระหว่างเรียน |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   | รวมคะแนน |                       |   |   |   |
|-----|--------------|------------------------------------------|---|---|---|--------------------|---|---|---|-------------|---|---|---|--------------------|---|---|---|----------|-----------------------|---|---|---|
|     |              | การสนใจเรียน                             |   |   |   | การแสดงความคิดเห็น |   |   |   | การตอบคำถาม |   |   |   | การยอมรับฟังคนอื่น |   |   |   |          | ทำงานตามที่ครูมอบหมาย |   |   |   |
|     |              | 4                                        | 3 | 2 | 1 | 4                  | 3 | 2 | 1 | 4           | 3 | 2 | 1 | 4                  | 3 | 2 | 1 |          | 4                     | 3 | 2 | 1 |
| 1   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 2   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 3   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 4   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 5   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 6   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 7   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 8   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 9   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 10  |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |

**เกณฑ์การวัดผล** ให้คะแนนระดับคุณภาพของแต่ละพฤติกรรมดังนี้

1. ดีมาก = 4 สนใจฟัง ไม่หลับ ไม่พูดคุยในชั้น มีคำถาม ตอบคำถามถูก ทำงานส่งตามเวลาอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 90 - 100%
2. ดี = 3 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 70 - 89%
3. ปานกลาง = 2 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 50 - 69 %
4. ปรับปรุง = 1 เข้าชั้นเรียน แต่การแสดงออกน้อยมาก ส่งงานไม่ครบ ส่งงานไม่ตรงเวลา

**เกณฑ์การประเมิน**

คะแนนรวมตามแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

ลงชื่อ .....ครูผู้สอนสังเกต  
(.....)

**วิทยาลัยการอาชีพบางสะพาน**  
**แบบประเมินด้านคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์**

สาขาวิชา.....สาขางาน.....ระดับชั้น.....กลุ่ม.....

| ลำดับ<br>ที่ | ชื่อ-สกุล | รายการประเมิน    |               |           |             |         |           |         |           |       |            | คะแนนรวม | คะแนนเฉลี่ย |
|--------------|-----------|------------------|---------------|-----------|-------------|---------|-----------|---------|-----------|-------|------------|----------|-------------|
|              |           | ยึดมั่นในสถาบันฯ | ละเว้นอบายมุข | ความเมตตา | ความสามัคคี | จิตอาสา | ซื่อสัตย์ | ประหยัด | ซื่อสัตย์ | สุภาพ | ตรงต่อเวลา |          |             |
| 1            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 2            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 3            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 4            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 5            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 6            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 7            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 8            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 9            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 10           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 11           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 12           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 13           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 14           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 15           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 16           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 17           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 18           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 19           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 20           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |

หมายเหตุ

- เกณฑ์การประเมินคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์

- 3 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนแสดงประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอและเป็นผู้ทำได้
- 2 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอ
- 1 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติไม่สม่ำเสมอ
- 0 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนไม่ประพฤติปฏิบัติ

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | แผนการจัดการเรียนรู้                                      | หน่วยที่ ... 2               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 4-5              |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ ความหนืด                             | ทฤษฎี 6 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง/งาน ความหนืด                                                           |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

- 3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับความหนืด
- 3.2. คำนวณประมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความหนืด

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายความหมายของความหนืดได้ถูกต้อง
- 4.2. อธิบายความสัมพันธ์ความหนืด แรงต้านการเฉือน และความเร็วได้ถูกต้อง
- 4.3. อธิบายความหมายความหนืดสัมบูรณ์และความหนืดจลน์ได้ถูกต้อง
- 4.4. อธิบายการหาความหนืดจลน์โดยใช้ Saybolt Viscosity
- 4.5. คำนวณหาค่าความหนืดสัมบูรณ์ ความหนืดจลน์ ความเค้นเฉือน และแรงดิ่งที่กระทำกับผิวของของไหลได้

### 5. สาระการเรียนรู้

- 5.1. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด แรงต้านการเฉือน และความเร็ว
- 5.2. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิ
- 5.3. ผลของการเฉือนที่มีต่อความเหลว
- 5.4. ผลของความดันที่มีต่อความหนืด
- 5.5. ความหนืดสัมบูรณ์
- 5.6. ความหนืดจลน์
- 5.7. การหาความหนืดจลน์โดยใช้ Saybolt Viscosity
- 5.8. การหาความหนืดโดยใช้หลอดคาปิลลารี

### 6. กิจกรรมการเรียนรู้

#### 6.1 การนำเข้าสู่บทเรียน

1. นำเข้าสู่บทเรียน โดยใช้คำถามนำเข้า
2. ผู้เรียนอธิบายความหมายเกี่ยวกับความหนืด

ความหนืด หมายถึง การต้านทานการเฉือนในเนื้อของของไหล ของไหลที่ข้นมากจะมีค่าความหนืดสูงกว่าของไหลที่ใสโดยปกติ ถ้าอุณหภูมิของของไหลเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดจะลดลง

#### 6.2 การเรียนรู้

- 6.2.1 หนังสือเรียน วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ของสำนักพิมพ์เอ็มพันธ์
- 6.2.2 สื่ออิเล็กทรอนิกส์ และ Power Point
- 6.2.3 กิจกรรมการเรียนการสอน

6.2.4 รูปภาพประกอบ

6.2.5 แบบหุ่นจำลอง

### 6.3 การสรุป

6.3.1 สรุปบทเรียนส่วนที่เป็นสาระสำคัญ

### 6.4 การวัดและประเมินผล

6.4.1. สังเกตพฤติกรรมรายบุคคล

6.4.2. กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้

6.4.3. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้

6.4.4 แบบประเมินผลการปฏิบัติงานและแบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม

## 7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

7.1. Power Point เรื่อง ความหนืด

## 8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1 หลักฐานความรู้

1. เอกสารรับรองจากการทดสอบความรู้

8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน

1. แบบบันทึกความคิดเห็นของครูผู้สอน

2. แบบรับรองการปฏิบัติงานจากสถานประกอบการ

3. แบบบันทึกรายการจากการสังเกตจากการปฏิบัติงาน

## 9. การวัดและประเมินผล

9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน

1. วางแผนและเตรียมความพร้อมในการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง ความหนืด

2. สรุปผลการวางแผนช่องทางในการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง ความหนืด

9.2 วิธีประเมิน

1. พิจารณาหลักฐานความรู้

2. พิจารณาหลักฐานการปฏิบัติงาน

9.3 เครื่องมือประเมิน

1. แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ใบความรู้ที่ 1

3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

## 10. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

### 10.1 ข้อสรุปหลังการจัดการเรียนรู้

---

---

---

### 10.2 ปัญหาที่พบ

---

---

---

### 10.3 แนวทางแก้ปัญหา

---

---

---



|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบความรู้ ที่ 1                                           | หน่วยที่ ... 2               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 4-5              |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ ความหนืด                             | ทฤษฎี 6 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง ความหนืด                                                               |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับความหนืด

3.2. คำนวณประมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความหนืด

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายความหมายของความหนืดได้ถูกต้อง

4.2. อธิบายความสัมพันธ์ความหนืด แรงต้านการเฉือน และความเร็วได้ถูกต้อง

4.3. อธิบายความหมายความหนืดสัมบูรณ์และความหนืดจลน์ได้ถูกต้อง

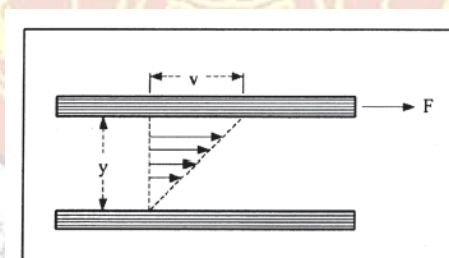
4.4. อธิบายการหาความหนืดจลน์โดยใช้ Saybolt Viscosity

5.5. คำนวณหาค่าความหนืดสัมบูรณ์ ความหนืดจลน์ ความเค้นเฉือน และแรงดิ่งที่กระทำกับผิวของของไหลได้

### 5. เนื้อหาสาระ

#### ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด แรงต้านการเฉือน และความเร็ว

ความหนืด (Viscosity) หมายถึง การต้านทานการเฉือนในเนื้อของของไหล ของไหลที่ข้นมากจะมีค่าความหนืดสูงกว่าของไหลที่ใสโดยปกติ ถ้าอุณหภูมิของของไหลเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดจะลดลง



จากรูป แผ่นราบสองแผ่นวางซ้อนห่างกันเท่ากับ  $y$  ระหว่างแผ่นราบบรรจุของไหล มีความหนืด ( $\mu$ ) แผ่นราบบนถูกดึงด้วยแรง  $F$  ทำให้เกิดความเร็วเท่ากับ  $v$  ดังนั้น ของไหลที่ติดกับแผ่นราบบนมีความเร็ว  $v$  และจะลดลงจนถึงราบแผ่นล่างความเร็วจะเป็นศูนย์(0)

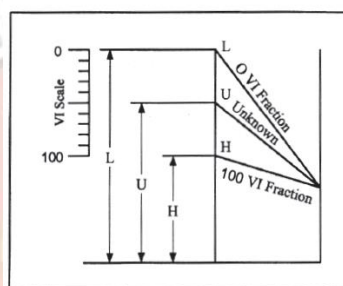
#### ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิ

ความหนืดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของน้ำมัน และในขณะเดียวกัน อุณหภูมิก็เป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อความหนืดมากที่สุด เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้นความหนืดจะลดลงแต่ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของความหนืดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะแตกต่างกันไปตามส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันแต่ละชนิด และเนื่องจากความหนืดมีอิทธิพลต่อความเสียดทาน

ของการไหลและความดันเป็นอย่างมาก 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

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



จะได้ว่า

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

โดย

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

ค่าความหนืดที่ใช้ในสมการ (2.3) จะเป็นเซโบลต์ หรือ คินแมติกส์ ก็ได้ แต่ควรใช้ค่าความหนืดคินแมติกส์ 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

#### ผลของการเขื่อนที่มีต่อความเหลว

เนื่องจากน้ำมันผสมพอลิเมอร์มีคุณสมบัติเป็น นอน-นิวโทเนียน กล่าวคือ ความหนืดจะเปลี่ยนแปลงตามอัตราการเขื่อนด้วย ซึ่งจากการทดลองพบว่าน้ำมันเครื่องซึ่งผสมพอลิเมอร์เหล่านี้ จะมีความหนืดและดัชนีความหนืดลดลง เมื่อถูกเขื่อนด้วยอัตราที่สูงพอ ดังนั้น ปริมาณพอลิเมอร์ที่ ผสมเข้าไปจะต้องคำนึงถึงทั้งดัชนีความหนืดและ shear stability

การสูญเสียความหนืดที่อัตราการเฉือนสูงๆ นี้ อาจเป็นการสูญเสียอย่างถาวรเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของโมเลกุลให้เล็กลงไม่ว่าจะโดยเชิงเคมีหรือเชิงกล หรือ อาจเป็นการสูญเสียชั่วคราวเนื่องจากโมเลกุลของพอลิเมอร์เรียงตัวเป็นเส้นยาวทำให้แรงเสียดทานน้อยลงก็ได้ทั้งสองอย่าง

### ผลของความดันที่มีต่อความหนืด

เมื่อน้ำมันหล่อลื่นที่มีความดันสูงขึ้นตั้งแต่ช่วง  $10^3$  ปอนด์/ตารางนิ้ว ขึ้นไปจะต้องคำนึงถึงอิทธิพลของความดันที่มีต่อความหนืด เมื่อความดันสูงขึ้นความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะสูงขึ้นด้วย สูตรแอมไพริคัลที่ใช้กันมากที่สุด คือ

$$Z_P = Z_0 (KP)$$

โดย

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

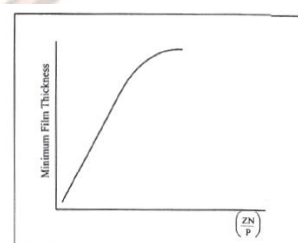
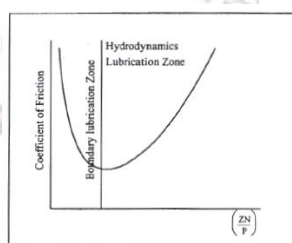
สำหรับน้ำมันทั่ว ๆ ไปอาจสรุปได้ว่า

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

ในกรณีของการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกส์ชิ้นส่วนเคลื่อนไหวยจะแยกจากกันโดยมีฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นสอดแทรกอยู่และเป็นตัวรองรับน้ำหนักทั้งหมด แบริงซึ่งมีความดันของน้ำมันหล่อลื่นส่วนใหญ่ได้มาจากภายนอก เรียกว่า Externally Pressurized หรือ Hydrostatic ส่วนแบริงซึ่งความดันทั้งหมดเกิดขึ้นจากการไหลของน้ำมันภายในแบริง เรียกว่า Externally pressurized หรือ Hydrodynamic

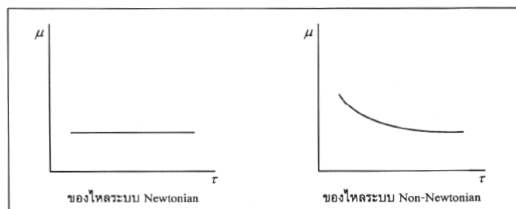
จะเห็นได้ว่าน้ำมันจะถูกบังคับให้ไหลไปในช่องว่างซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเล็กลงเรื่อย ๆ ด้วยการเคลื่อนที่ของเพลลา ประกอบกับการต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากความหนืด เมื่อพื้นที่หน้าตัดเล็กลงเรื่อย ๆ น้ำมันบางส่วนก็จะพยายามหนีออกไปทางปลายทั้งสองของแบริง แต่ความหนืดจะต้านทานการไหลไว้

ดังนั้นความดันของน้ำมันที่ไหลไปแบริงจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าสูงสุดบริเวณซึ่งฟิล์มของน้ำมันบางที่สุด (Minimum Film Thickness) จากรูป จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและความหนืดต่ำสุดของฟิล์มเกือบจะขึ้นอยู่กับ Dimensionless Parameter



## ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute Viscosity)

ความหนืดสัมบูรณ์ ( $\mu$ ) เป็นค่าคงที่ของไหลตามสมการ 2.1 กล่าวคือ ความหนืดสัมบูรณ์มีค่าคงที่ที่แต่ละอุณหภูมิและความดันเรียกว่า ของไหลแบบราบเรียบ (Newtonian) ดังนั้นในของไหลแต่แบบเรียบ ความเค้นเฉือนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเฉือน มีของไหลบางชนิด ซึ่งความหนืดเปลี่ยนแปลงตามอัตราการเฉือนได้ทั้งอุณหภูมิและความดันของไหลแบบนี้เรียกว่า ของไหลแบบไม่ราบเรียบ (Non-Newtonian) ดังตัวอย่างเช่น โลหิต น้ำมันข้น และไข่



จากทฤษฎีการไหลแบบต่อเนื่องในท่อกลม แสดงด้วยสมการ

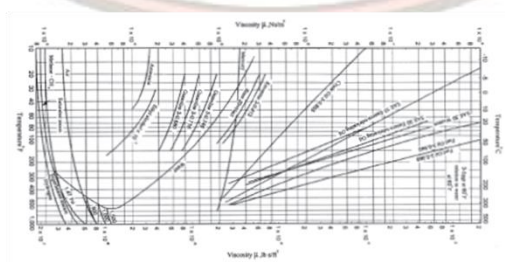
$$Q = \frac{q}{t} = \frac{\pi \Delta P r^4}{8 L \mu}$$

|     |            |   |                                                                  |
|-----|------------|---|------------------------------------------------------------------|
| โดย | $Q$        | = | ปริมาตรอัตราการไหล                                               |
|     | $q$        | = | ปริมาตรการไหล                                                    |
|     | $t$        | = | เวลาซึ่งปริมาตร $q$ ใช้ในการไหล                                  |
|     | $\Delta P$ | = | ความแตกต่างของความดันระหว่างสองจุดซึ่งอยู่ห่างกันเป็นระยะทาง $L$ |
|     | $r$        | = | รัศมีภายในท่อ                                                    |
|     | $\mu$      | = | ความหนืดสัมบูรณ์                                                 |

จากสมการที่ 2.6 หาค่าความหนืดสัมบูรณ์ของของไหลแบบนิวโทเนียน จะได้ว่า

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

จากรูปแสดงความหนืดสัมบูรณ์ของของไหลบางชนิด



## ความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity)

ความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity) หมายถึง ความหนืดสัมบูรณ์ของไหลต่อความหนาแน่นของของไหลนั้น

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

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

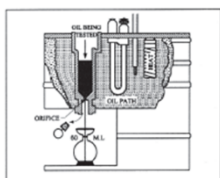
|     |        |   |                                                          |
|-----|--------|---|----------------------------------------------------------|
| โดย | $\nu$  | = | ความหนืดจลน์ของของไหล ( $\text{m}^2/\text{s}$ )          |
|     | $\mu$  | = | ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ) |
|     | $\rho$ | = | ความหนาแน่นของของไหล ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )          |

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

$$\sqrt{t} = 0.22t - \frac{180}{t}$$

|     |                      |   |                                |
|-----|----------------------|---|--------------------------------|
| โดย | $\frac{\sqrt{t}}{t}$ | = | ความหนืดจลน์ในหน่วย Centistoke |
|     |                      | = | Saybolt Universal Second       |

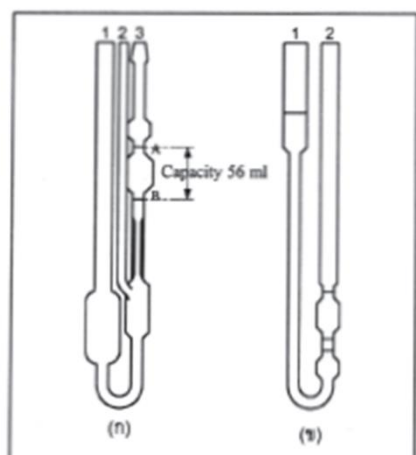
## การหาความหนืดโดยใช้หลอดคาปิลลารี (Capillary Tube)

หลอดคาปิลลารี เป็นเครื่องมือวัดความหนืดแบบหลอดคาปิลลารี ซึ่งหาค่าความหนืดได้โดยอาศัยสมการ 2.7 เนื่องจากการสูญเสียพลังงานจลน์ที่ปากทางเข้าและทางออกของหลอดคาปิลลารีสมการที่ 2.7 จะกลายเป็น

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

|     |                 |   |                                                                                                                                        |
|-----|-----------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| โดย | $\rho$          | = | ความหนาแน่นของน้ำมัน                                                                                                                   |
|     | $K_1$ และ $K_2$ | = | ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของหลอดคาปิลลารีแต่ละอันและในการสร้าง<br>วิสโคมิเตอร์แบบนี้ จะจงใจสร้างให้ $K_1 r$ มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ $L$ |
|     | $\Delta p$      | = | ความดันที่อยู่ในรูปความสูง (Hydrostatic head)                                                                                          |

ดังรูป



## วิธีทำ

การหาความหนืดของน้ำมันชนิดหนึ่งโดยใช้ Saybolt Viscosimeter หาค่า Saybolt Universal Second ได้ 150 วินาที จงหาความหนืดจลน์

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร} \quad & \sqrt{\quad} = 0.22t - \frac{180}{t} \\
 \text{โดย} \quad & \sqrt{\quad} = \text{ความหนืดจลน์} \\
 & t = 150 \text{ วินาที} \\
 \text{ดังนั้น} \quad & \sqrt{\quad} = 0.22(150) - \frac{180}{150} \\
 & \sqrt{\quad} = 31.8 \text{ Centi Stoke}
 \end{aligned}$$

ตอบ

## 6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

### แบบฝึกหัดที่ 2 ความหนืด

1. ความหนืด หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

2. ความเค้นเฉือนของของไหล มีความสัมพันธ์กับอะไร

.....

.....

.....

3. ความหนืดสัมบูรณ์ คืออะไร

.....

.....

.....

4. นิวโตเนียน (Newtonian) คืออะไร

.....

.....

.....

5. ความหนืดจลน์ หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

6. หลอดคาปิลลารี คืออะไร

.....

.....

.....

7. อุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้น ความหนืดจะเป็นอย่างไร

.....

.....

.....

8. ความดันของน้ำมันสูงขึ้น จะมีผลอย่างไร

.....

.....

.....

9. ความหนืด 1 Poise มีค่าเท่ากับเท่าใด

.....

.....

.....

10. นอนนิวโทเนียน (Non-Newtonian) คืออะไร

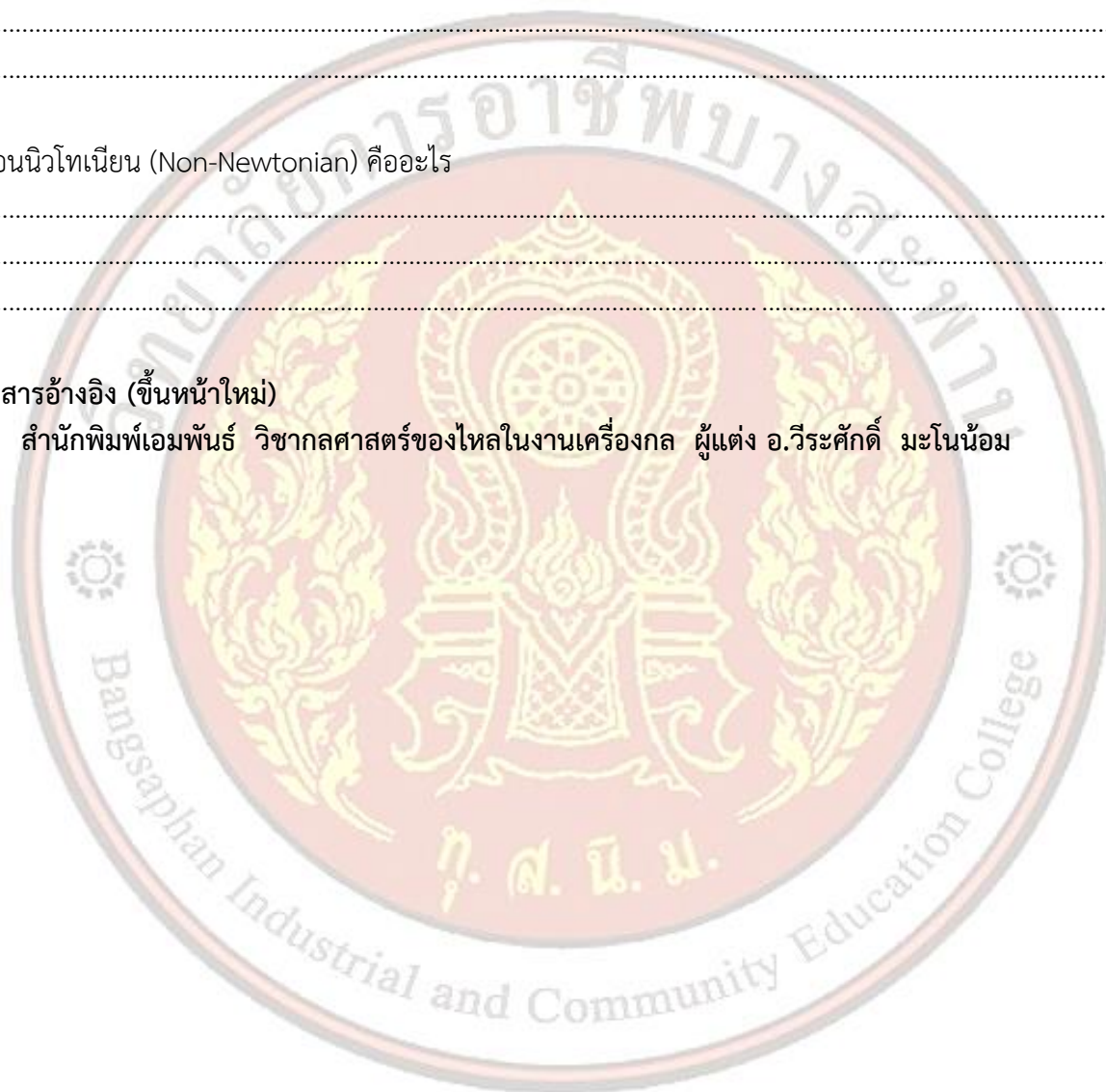
.....

.....

.....

7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

สำนักพิมพ์เอ็มพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม



## 8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

### เฉลยแบบฝึกหัดที่ 2 ความหนืด

#### 1. ความหนืด หมายถึงอะไร

ความหนืด หมายถึง การต้านทานการเฉือนในเนื้อของของไหล ของไหลที่ข้นมากจะมีความหนืดสูงกว่าของไหลที่ใสโดยปกติ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดจะลดลง

#### 2. ความเค้นเฉือนของของไหล มีความสัมพันธ์กับอะไร

ความเค้นเฉือนของของไหลจะมีความสัมพันธ์กับระหว่างความหนืดและแรงต้านการเฉือน

#### 3. ความหนืดสัมบูรณ์ คืออะไร

ความหนืดสัมบูรณ์ คือ ความหนืดสัมบูรณ์ที่มีค่าคงที่ที่แต่ละอุณหภูมิและความดันเรียกว่า ของไหลแบบราบเรียบ ดังนั้นในของไหลแบบราบเรียบ ความเค้นเฉือนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเฉือน มีของไหลบางชนิดซึ่งความหนืดเปลี่ยนแปลงตามอัตราการเฉือนได้ทั้งอุณหภูมิและความดันคงที่ ของไหลแบบนี้เรียกว่า ของไหลแบบไม่ราบเรียบ

#### 4. นิวโทเนียน (Newtonian) คืออะไร

นิวโทเนียน (Newtonian) คือ ความหนืดสัมบูรณ์ที่มีค่าที่แต่ละอุณหภูมิและความดัน

#### 5. ความหนืดจลน์ หมายถึงอะไร

ความหนืดจลน์ หมายถึง ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหลต่อความหนาแน่นของของไหลนั้น

#### 6. หลอดคาปิลลารี คืออะไร

หลอดคาปิลลารี คือ เครื่องมือวัดความหนืดแบบหลอดคาปิลลารี

#### 7. อุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้น ความหนืดจะเป็นอย่างไร

อุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้น จะทำให้ความหนืดลดลง

#### 8. ความดันของน้ำมันสูงขึ้น จะมีผลอย่างไร

ความดันของน้ำมันสูงขึ้น จะทำให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นสูงขึ้นไปด้วย

#### 9. ความหนืด 1 Poise มีค่าเท่ากับเท่าใด

ความหนืด 1 Poise มีค่าเท่ากับ 0.1 Pa.s

#### 10. นอนนิวโทเนียน (Non-Newtonian) คืออะไร

นอนนิวโทเนียน (Non-Newtonian) คือ ของไหลแบบราบเรียบ ความเค้นเฉือนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเฉือน มีของไหลบางชนิดซึ่งความหนืดเปลี่ยนแปลงตามอัตราการเฉือนได้ทั้งอุณหภูมิและความดันคงที่

|                                                                                   |                                                          |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบงาน ที่ 2                                              | หน่วยที่ ... 2               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 4-5              |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ ความหนืด                            | ทฤษฎี 6 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง                                                                        |                                                          |                              |

# 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

# 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

# 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับความหนืด

3.2. คำนวณประมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความหนืด

# 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายความหมายของความหนืดได้ถูกต้อง

4.2. อธิบายความสัมพันธ์ความหนืด แรงต้านการเฉือน และความเร็วได้ถูกต้อง

4.3. อธิบายความหมายความหนืดสัมบูรณ์และความหนืดจลน์ได้ถูกต้อง

4.4. อธิบายการหาความหนืดจลน์โดยใช้ Saybolt Viscosity

5.5. คำนวณหาค่าความหนืดสัมบูรณ์ ความหนืดจลน์ ความเค้นเฉือน และแรงดิ่งที่กระทำกับผิวของของไหลได้

# 5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

1. แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ใบความรู้ที่ 1

3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

# 6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

ไม่มี

# 7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. นำเข้าสู่บทเรียน โดยใช้คำถามนำเข้า เช่น

- ความหนืดหมายถึงอะไร

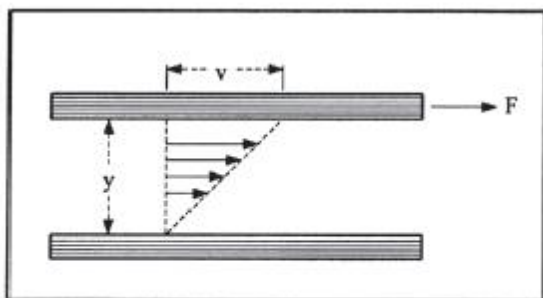
2. ผู้เรียนอธิบายความหมายเกี่ยวกับความหนืด

ความหนืด หมายถึง การต้านทานการเฉือนในเนื้อของของไหล ของไหลที่ข้นมากจะมีค่าความหนืดสูงกว่าของไหลที่ใสโดยปกติ ถ้าอุณหภูมิของของไหลเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดจะลดลง

ขั้นสอน

1. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด แรงต้านการเฉือน และความเร็ว

จากรูปที่ 2.1 แผ่นราบสองแผ่นวางซ้อนกันเท่ากับ  $y$  ระหว่างแผ่นราบบรรจุของไหล มีความหนืด แผ่นราบบนถูกดึงด้วยแรง  $F$  ทำให้เกิดความเร็วเท่ากับ  $v$  ดังนั้นของไหลที่ติดกับแผ่นราบบนมีความเร็ว  $v$  และจะลดลงจนถึงแผ่นราบด้านล่าง ความเร็วจะเป็นศูนย์



รูปที่ 2.1

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและแรงต้านการเฉือน ดังนี้

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

และ  $\tau = \frac{F}{A}$

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

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

|     |        |   |                                                                                          |
|-----|--------|---|------------------------------------------------------------------------------------------|
| โดย | $\tau$ | = | ความเค้นเฉือนของของไหล ( $\text{N/m}^2$ )                                                |
|     | $F$    | = | แรงดึงที่กระทำกับแผ่นราบแผ่นบน (N)                                                       |
|     | $\mu$  | = | ความหนืดสัมบูรณ์ ( $\frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2} = \text{Pa}\cdot\text{s}$ ) |
|     | $A$    | = | พื้นที่ส่วนสัมผัสกับของเหลวของแผ่นราบแผ่นบน ( $\text{m}^2$ )                             |
|     | $v$    | = | ความเร็วของการเคลื่อนที่ของแผ่นบน (m/s)                                                  |
|     | $y$    | = | ระยะห่างระหว่างผิวของแผ่นงานทั้งสอง (m)                                                  |

## 2. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิ

ความหนืดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของน้ำมัน และในขณะเดียวกัน อุณหภูมิก็เป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อความหนืดมากที่สุด เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้นความหนืดจะลดลง แต่ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของความหนืดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน จะแตกต่างกันไปตามส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันแต่ละชนิด และเนื่องจากความหนืดมีอิทธิพลต่อความ

เสียดทานของการไหลและความดันเป็นอย่างมาก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของความหนืดเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการขนส่งของไหลไปตามท่อ และการหล่อลื่น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

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

โดย L = ความหนืดที่ 100°F ของน้ำมันซึ่งมีดัชนีความหนืด 0

H = ความหนืดที่ 100°F ของน้ำมันซึ่งมีดัชนีความหนืด 100

U = ความหนืดที่ 100°F ของน้ำมันซึ่งจะหาดัชนีความหนืด

### 3. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายผลของการเฉือนที่มีต่อความเหลว

เนื่องจากน้ำมันผสมพอลิเมอร์มีคุณสมบัติเป็น นอน-นิวโทเนียน กล่าวคือ ความหนืดจะเปลี่ยนแปลงตามอัตราการเฉือนด้วย ซึ่งจากการทดลองพบว่าน้ำมันเครื่องซึ่งผสมพอลิเมอร์เหล่านี้จะมีความหนืดและดัชนีความหนืดลดลง เมื่อถูกเฉือนด้วยอัตราที่สูงพอ ดังนั้น ปริมาณพอลิเมอร์ที่ผสมเข้าไปจะต้องคำนึงถึงทั้งดัชนีความหนืดและการสูญเสียความหนืดที่อัตราการเฉือนสูง ๆ นี้ อาจเป็นการสูญเสียอย่างถาวรเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของโมเลกุลให้เล็กลงไม่ว่าจะโดยเชิงเคมีหรือเชิงกล

### 4. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายผลของความดันที่มีต่อความหนืด

เมื่อน้ำมันหล่อลื่นที่มีความดันสูงขึ้นตั้งแต่ช่วง  $10^3$  ปอนด์/ตารางนิ้ว ขึ้นไปจะต้องคำนึงถึงอิทธิพลของความดันที่มีต่อความหนืดด้วย เมื่อความดันสูงขึ้นความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะสูงขึ้นด้วย ซึ่งสามารถคำนวณจากสูตรดังนี้

$$Z_p = Z_0 (KP)$$

โดย  $Z_p$  = ความหนืดสัมบูรณ์ที่มีความดัน P

$Z_0$  = ความหนืดสัมบูรณ์ที่มีความดันบรรยากาศ

K = ค่าคงที่เฉพาะของน้ำมันแต่ละชนิดที่แต่ละอุณหภูมิ

P = ความดันเป็น ปอนด์/ตารางนิ้ว

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

โดย Z = ความหนืดสัมบูรณ์ของน้ำมัน

N = อัตราการหมุนของเพลลา

P = น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ของแบริง

U = ความเร็วในการไหล

W = น้ำหนักของเพลลา

### 5. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายความหนืดสัมบูรณ์

ความหนืดสัมบูรณ์เป็นค่าคงที่ของของไหล มีค่าคงที่ที่แต่ละอุณหภูมิและความดันเรียกว่า ของไหลแบบราบเรียบ ดังนั้นในของไหลแบบเรียบ ความเค้นเฉือนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราเฉือน มีของไหลบางชนิด

ซึ่งความหนืดเปลี่ยนแปลงตามอัตราการเฉือนได้ทั้งอุณหภูมิและความดันคงที่ ของไหลแบบนี้เรียกว่า ของไหลแบบไม่ราบเรียบ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

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

โดย  $Q$  = ปริมาตรอัตราการไหล  
 $q$  = ปริมาตรการไหล  
 $t$  = เวลาซึ่งปริมาตร  $q$  ใช้ในการไหล  
 $\Delta P$  = ความแตกต่างของความดันระหว่างสองจุดซึ่งอยู่ห่างกันเป็นระยะทาง  $L$   
 $r$  = รัศมีภายในท่อ  
 $\mu$  = ความหนืดสัมบูรณ์

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

6. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายความหนืดจลน์  
 ความหนืดจลน์ หมายถึง ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหลต่อความหนาแน่นของของไหลนั้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

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

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

โดย  $\nu$  = ความหนืดจลน์ของของไหล ( $\text{m}^2/\text{s}$ )  
 $\mu$  = ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )  
 $\rho$  = ความหนาแน่นของของไหล ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

7. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายการหาความหนืดจลน์โดยใช้ Saybolt Viscosity  
 การหาความหนืดจลน์โดยใช้ Saybolt Viscosity คือ เครื่องมือหาความหนืดของของไหล โดยให้ของไหลบรรจุในภาชนะทรงกระบอกไหลลงสู่ขวดมาตรฐานและจับเวลา ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\nu = 0.22t - \frac{180}{t}$$

8. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายการหาความหนืดโดยใช้หลอดคาปิลลารี

หลอดคาปิลลารี เป็นเครื่องมือวัดความหนืดแบบหลอดคาปิลลารี ซึ่งหาค่าความหนืดได้ เนื่องจากมีการสูญเสียพลังงานจลน์ที่ปากทางเข้าและทางออกของหลอดคาปิลลารี ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

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

โดย  $\rho$  = ความหนาแน่นของน้ำมัน  
 $K_1$  และ  $K_2$  = ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของหลอดคาปิลลารีแต่ละอันและในการสร้าง  
 วิสโคมิเตอร์แบบนี้ จะจงใจสร้างให้  $K_1 r$  มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ  $L$   
 $\Delta P$  = ความดันที่อยู่ในรูปความสูง (Hydrostatic head)

ขั้นสรุป

1. ครูและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาที่เรียน
2. ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด

### 8. สรุปและวิจารณ์ผล

ความหนืด คือ ความต้านทานภายในต่อการเคลื่อนที่ของของไหล หรือหมายถึง การต้านทานการเฉือนในเนื้อของของไหล ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อของไหลแต่ละชั้นซึ่งอยู่ข้างเคียงกันเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เท่ากัน ความต้านทานนี้เกิดจากแรงเสียดทานของโมเลกุลของของไหลซึ่งเสียดสีกันโดยอนุหุมิที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อความหนืดมาก

### 9. การประเมินผล

1. เกณฑ์ผ่านการสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
2. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้ มีเกณฑ์ผ่าน 50%

### 10. เอกสารอ้างอิง/เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

**แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 1**  
**รายวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล รหัสวิชา 30101-2001**  
**เรื่อง ความหนืด**

ชื่อ.....สกุล.....ระดับชั้น ..... สาขาวิชา.....กลุ่ม.....

| ลำดับที่ | หัวข้อการประเมิน                                        | ระดับคะแนน |   |   |   |   | หมายเหตุ |
|----------|---------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|----------|
|          |                                                         | 5          | 4 | 3 | 2 | 1 |          |
| 1        | ด้านคุณธรรม จริยธรรม<br>เข้าเรียนตรงต่อเวลา             |            |   |   |   |   |          |
| 2        | มีวินัย และแต่งกายถูกระเบียบ                            |            |   |   |   |   |          |
| 3        | มีความมุ่งมั่น และตั้งใจปฏิบัติงาน                      |            |   |   |   |   |          |
| 4        | มีการทำงานร่วมกับผู้อื่น หรือเป็นทีม                    |            |   |   |   |   |          |
| 5        | ส่งงานในเวลาที่กำหนด                                    |            |   |   |   |   |          |
| 6        | ด้านทักษะการปฏิบัติงาน<br>การปฏิบัติงานเป็นไปตามขั้นตอน |            |   |   |   |   |          |
| 7        | แบบงานมีความประณีต และสวยงาม                            |            |   |   |   |   |          |
| 8        | แบบงานถูกต้องตามหลักวิชาการ                             |            |   |   |   |   |          |
| 9        | ปฏิบัติงานเสร็จสิ้นตามเวลาที่กำหนด                      |            |   |   |   |   |          |
| 10       | มีสุขภาพดีของความปลอดภัย                                |            |   |   |   |   |          |
|          | รวมคะแนน                                                |            |   |   |   |   |          |

สรุปผลการประเมิน ผ่าน ไม่ผ่าน คะแนนที่ได้.....

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน  
 (.....)  
 ...../...../.....

**แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล**  
**หน่วยที่ 1 เรื่อง ความหนืด**

**คำชี้แจง** ให้ทำเครื่องหมาย ✓ และหากผู้เรียนมีพฤติกรรมนั้น ลงในช่องรายการ

| ที่ | ชื่อ-<br>นามสกุล | การแสดงพฤติกรรมของผู้เรียนในระหว่างเรียน |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |                           |   |   |   | รวม<br>คะแนน |
|-----|------------------|------------------------------------------|---|---|---|------------------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|------------------------|---|---|---|---------------------------|---|---|---|--------------|
|     |                  | การสนใจเรียน                             |   |   |   | การแสดง<br>ความคิดเห็น |   |   |   | การตอบ<br>คำถาม |   |   |   | การยอมรับฟัง<br>คนอื่น |   |   |   | ทำงานตามที่<br>ครูมอบหมาย |   |   |   |              |
|     |                  | 4                                        | 3 | 2 | 1 | 4                      | 3 | 2 | 1 | 4               | 3 | 2 | 1 | 4                      | 3 | 2 | 1 | 4                         | 3 | 2 | 1 |              |
| 1   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |                           |   |   |   |              |
| 2   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |                           |   |   |   |              |
| 3   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |                           |   |   |   |              |
| 4   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |                           |   |   |   |              |
| 5   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |                           |   |   |   |              |
| 6   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |                           |   |   |   |              |
| 7   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |                           |   |   |   |              |
| 8   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |                           |   |   |   |              |
| 9   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |                           |   |   |   |              |
| 10  |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |                           |   |   |   |              |

**เกณฑ์การวัดผล** ให้คะแนนระดับคุณภาพของแต่ละพฤติกรรมดังนี้

1. ดีมาก = 4 สนใจฟัง ไม่หลับ ไม่พูดคุยในชั้น มีคำถาม ตอบคำถามถูก ทำงานส่งตามเวลาอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 90 - 100%
2. ดี = 3 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 70 - 89%
3. ปานกลาง = 2 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 50 - 69 %
4. ปรับปรุง = 1 เข้าชั้นเรียน แต่การแสดงออกน้อยมาก ส่งงานไม่ครบ ส่งงานไม่ตรงเวลา

**เกณฑ์การประเมิน**

คะแนนรวมตามแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

ลงชื่อ .....ครูผู้สอนสังเกต  
(.....)

**วิทยาลัยการอาชีพบางสะพาน**  
**แบบประเมินด้านคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์**

สาขาวิชา.....สาขางาน.....ระดับชั้น.....กลุ่ม.....

| ลำดับ<br>ที่ | ชื่อ-สกุล | รายการประเมิน    |               |           |             |         |           |         |           |       |            | คะแนนรวม | คะแนนเฉลี่ย |
|--------------|-----------|------------------|---------------|-----------|-------------|---------|-----------|---------|-----------|-------|------------|----------|-------------|
|              |           | ยึดมั่นในสถาบันฯ | ละเว้นอบายมุข | ความเมตตา | ความสามัคคี | จิตอาสา | ซื่อสัตย์ | ประหยัด | ซื่อสัตย์ | สุภาพ | ตรงต่อเวลา |          |             |
| 1            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 2            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 3            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 4            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 5            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 6            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 7            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 8            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 9            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 10           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 11           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 12           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 13           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 14           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 15           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 16           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 17           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 18           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 19           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 20           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |

หมายเหตุ

- เกณฑ์การประเมินคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์

- 3 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนแสดงประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอและเป็นผู้ทำได้  
 2 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอ  
 1 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติไม่สม่ำเสมอ  
 0 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนไม่ประพฤติปฏิบัติ

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | แผนการจัดการเรียนรู้                                      | หน่วยที่ ... 3               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 6-7              |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง         | ทฤษฎี 6 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง/งาน การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง                                       |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับความดันของไหลที่หยุดนิ่ง

3.2. คำนวณหาความดันของของไหลที่หยุดนิ่ง

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายการวัดความดันแบบต่าง ๆ ได้ถูกต้อง

4.2 อธิบายหลักการของปาสคาลได้ถูกต้อง

4.3 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเฮดได้ถูกต้อง

4.4 คำนวณหาความดันของของไหลในท่อได้ถูกต้อง

4.5 คำนวณหาความดันโดยใช้แมนอมิเตอร์แบบตัวยูได้ถูกต้อง

### 5. สารการเรียนรู้

5.1 การวัดความดัน

5.2 การอ่านค่าความดัน

5.3 เครื่องมือที่ใช้วัดความดัน

5.4 กฎของปาสคาล

5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเฮด

### 6. กิจกรรมการเรียนรู้

#### 6.1 การนำเข้าสู่บทเรียน

1. นำเข้าสู่บทเรียน โดยใช้คำถามนำเข้า เช่น

- การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่งหมายถึงอะไร

2. ผู้เรียนอธิบายความหมายของการสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง

การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง หมายถึง ของไหลที่ไม่มีการเคลื่อนที่และไม่มีความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของของไหลนั้น โดยไม่คำนึงถึงความหนืด ความเค้นเฉือนระหว่างของของไหล

#### 6.2 การเรียนรู้

6.2.1 หนังสือเรียน วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ของสำนักพิมพ์เอ็มพันธ์

6.2.2 สื่ออิเล็กทรอนิกส์ และ Power Point

6.2.3 กิจกรรมการเรียนการสอน

6.2.4 รูปภาพประกอบ

6.2.5 แบบหุ่นจำลอง

### 6.3 การสรุป

6.3.1 สรุปบทเรียนส่วนที่เป็นสาระสำคัญ

### 6.4 การวัดและประเมินผล

6.4.1. สังเกตพฤติกรรมรายบุคคล

6.4.2. กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้

6.4.3. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้

6.4.4 แบบประเมินผลการปฏิบัติงานและแบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม

### 7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

7.1. Power Point เรื่อง การสมดุลงของของไหลที่อยู่นิ่ง

### 8. หลักฐานการเรียนรู้

#### 8.1 หลักฐานความรู้

1. เอกสารรับรองจากการทดสอบความรู้

#### 8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน

1. แบบบันทึกความคิดเห็นของครูผู้สอน

2. แบบรับรองการปฏิบัติงานจากสถานประกอบการ

3. แบบบันทึกรายการจากการสังเกตจากการปฏิบัติงาน

### 9. การวัดและประเมินผล

#### 9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน

1. วางแผนและเตรียมความพร้อมในการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง การสมดุลงของของไหลที่อยู่นิ่ง
2. สรุปผลการวางแผนช่องทางการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง การสมดุลงของของไหลที่อยู่นิ่ง

#### 9.2 วิธีการประเมิน

1. พิจารณาหลักฐานความรู้

2. พิจารณาหลักฐานการปฏิบัติงาน

#### 9.3 เครื่องมือประเมิน

1. แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ใบความรู้ที่ 1

3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

## 10. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

### 10.1 ข้อสรุปหลังการจัดการเรียนรู้

---

---

---

### 10.2 ปัญหาที่พบ

---

---

---

### 10.3 แนวทางแก้ปัญหา

---

---

---



|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบความรู้ ที่ 1                                           | หน่วยที่ ... 3               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 6-7              |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง         | ทฤษฎี 6 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง                                           |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับความดันของไหลที่หยุดนิ่ง

3.2. คำนวณหาความดันของของไหลที่หยุดนิ่ง

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายการวัดความดันแบบต่าง ๆ ได้ถูกต้อง

4.2 อธิบายหลักการของปาสคาลได้ถูกต้อง

4.3 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเฮดได้ถูกต้อง

4.4 คำนวณหาความดันของของไหลในท่อได้ถูกต้อง

4.5 คำนวณหาความดันโดยใช้แมนอมิเตอร์แบบตัวยูได้ถูกต้อง

### 5. เนื้อหาสาระ

#### การวัดความดัน (Pressure and Head Measurement)

การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง หมายถึง ของไหลที่ไม่มีการเคลื่อนที่และไม่มีความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของของไหลนั้นๆ โดยไม่คำนึงถึงความหนืด ความเค้นเฉือนระหว่างของของไหล

การวัดความดัน โดยทั่วไปวัดได้ 3 แบบ คือ

1. วัดเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Pressure Unit)

2. วัดเป็นความสูงของลำของเหลว (Head Pressure) โดยลำของของเหลวจะมีพื้นที่หน้าตัดเท่าใดก็ได้

3. วัดเป็นบรรยากาศ (Atmosphere) โดยวัดเป็นกิโลกรัมของบรรยากาศมาตรฐาน (Standard Atmosphere Pressure) ความดัน 1 บรรยากาศมาตรฐาน หมายถึง ความดันที่เกิดจากน้ำหนักของอากาศในบรรยากาศโลก ซึ่งมีผลทำให้พื้นที่หรือจุดใดๆ ณ ระดับน้ำทะเลและที่อุณหภูมิ 32 °F หรือ 0°C

เกิดผลดังนี้

1) ทำให้เกิดแรง 1.0323 กิโลกรัมแรง กดลงบนพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร หรือทำให้เกิดแรง 14.7 ปอนด์ กดลงบนพื้นที่ 1 ตารางนิ้ว

2) ทำให้เกิดแรงดันน้ำขึ้นไปในหลอดแก้วได้สูงเท่ากับ 10.3 เมตร หรือ 33.8986 ฟุต

3) ทำให้เกิดแรงดันปรอทขึ้นสูงไปในหลอดแก้ว เท่ากับ 760 มิลลิเมตร หรือ 29.9213 นิ้ว

#### หน่วยที่ใช้ในการวัดความดัน (S.I. Unit)

ความดัน (Pressure) วัดเป็น  $\text{N/m}^2$  ,  $\text{KN/m}^2$  , Pa

ความสูงของลำของเหลว (Head) วัดเป็น m, mm

ความดันบรรยากาศ (Atmosphere) วัดเป็น bar (1 bar =  $10^5 \text{ N/m}^2$  )

## การอ่านค่าความดัน (Pressure Reading)

การอ่านค่าความดัน โดยทั่วไปอ่านได้ 3 แบบ คือ

1. อ่านเป็นความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure or Absolute: Head) หมายถึง ความดันที่อ่านได้ ณ จุดใด เมื่อเทียบกับจุดที่เป็นสุญญากาศโดยสัมบูรณ์

1.1 กรณีความดันที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} = \text{ความดันของบรรยากาศ} + \text{ความดันที่อ่านจากเกจ}$$

1.2 กรณีความดันที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดสุญญากาศ

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} = \text{ความดันของบรรยากาศ} - \text{ความดันที่อ่านจากเกจ}$$

2. อ่านค่าความดันมาตร (Gauge pressure or Gauge Head) หมายถึง ความดันที่อ่านได้ ณ จุดใดๆ เมื่อเทียบกับจุดที่เป็นความดันบรรยากาศ ณ ที่นั้นโดยใช้บรรยากาศ ณ ที่นั้นเป็นระดับอ้างอิงในการวัด

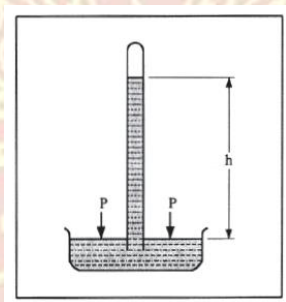
3. อ่านจากความดันแตกต่าง Differential Pressure or Differential Head) หมายถึง ความดันที่อ่านได้จากผลต่างระหว่างความดันของจุดสองจุด ใช้ระดับสมมติ (Datum Line) เป็นจุดอ้างอิง

## เครื่องมือที่ใช้วัดความดัน (Measurement of Pressure)

เครื่องมือที่ใช้วัดความดัน โดยทั่วไปมีหลายชนิดด้วยกัน ดังนี้

### 1. บารอมิเตอร์ (Barometer)

บารอมิเตอร์ใช้วัดความดันของบรรยากาศของเหลวที่บรรจุในภาชนะเป็นปรอท (Hg) ความสูงของปรอทในหลอดแก้ว (h) ณ ที่เหนือระดับน้ำทะเลหรือ 1 บรรยากาศเท่ากับ 760 มิลลิเมตรหรือเท่ากับ 33.9 ฟุตน้ำ



จากสูตร

$$P = \gamma \cdot h$$

โดย

$$\gamma = \rho \cdot g$$

ดังนั้น

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P_a = \rho_m \cdot g \cdot h \quad \dots 3.1$$

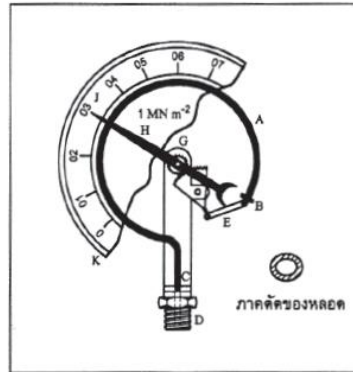
$$P_a = S_m \cdot \rho_m \cdot g \cdot h$$

$$\therefore h = \frac{P_a}{S_m \cdot \rho_m \cdot g} \quad \dots 3.2$$

## 2. เครื่องวัดความดันแบบบูตอง (Bourdon)

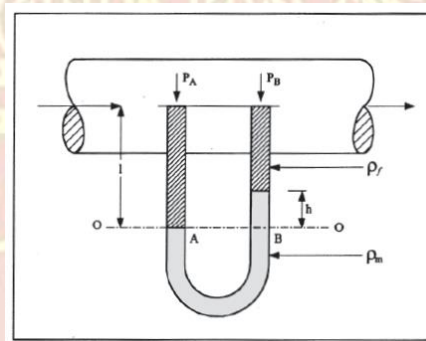
เครื่องมือชนิดนี้วัดความดันที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความดันบรรยากาศได้ และสามารถวัดความดันเกจได้ ถ้าต้องการหาความดันสัมบูรณ์ก็ต้องนำค่าที่อ่านได้ไปบวกกับความดันบรรยากาศ

อุปกรณ์ของเครื่องวัดแบบบูตองนี้ประกอบด้วยหลอดซึ่งมีภาคตัดขวางเป็นรูปไป และตัดเป็นส่วนโค้งของวงกลม ปลายหลอดเชื่อมปิดสนิทอีกปลายข้างหนึ่งต่อกับอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันเมื่อความดันภายในหลอดเพิ่มขึ้น หลอดจะดันออก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความดันจะไปปรากฏเป็นการเคลื่อนไหวของปลายท่อปิดซึ่งต่อกับกลไกทำให้เข็มชี้หมุนไปตามสเกลที่แบ่งไว้ แล้วอ่านค่าออกมา



## 3. แมนอมิเตอร์แบบตัวยู (U-Tube Manometer)

แมนอมิเตอร์แบบตัวยู ใช้วัดความดันแตกต่างระหว่างจุดสองจุดในท่อ



ที่ระดับสมมติ (Datum Line) มีความดันต่างกัน

ระดับ O-O ; ความดันที่จุด A = ความดันที่จุด B

$$P_A + \rho_f \cdot g \cdot l = P_B + \rho_f g (l-h) + \rho_m \cdot g \cdot h$$

$$P_A + \rho_f \cdot g \cdot l = P_B + \rho_f \cdot g \cdot l - \rho_f \cdot g \cdot h + \rho_m \cdot g \cdot h$$

$$P_A - P_B = g \cdot h (\rho_m - \rho_f)$$

$$\frac{P_A - P_B}{\rho_f \cdot g} = \frac{h \cdot (\rho_m - \rho_f)}{\rho_f}$$

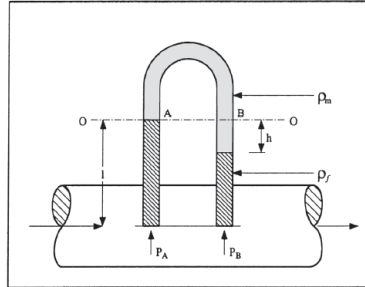
ดังนั้น

$$P_A - P_B = \rho_f \cdot g \cdot h (\rho_m / \rho_f - 1)$$

... 3.3

#### 4. แมนอมิเตอร์แบบตัวยู-คว่ำ (Inverted Tube manometer)

แมนอมิเตอร์แบบตัวยู-คว่ำ ใช้วัดความดันแตกต่างระหว่างจุดสองจุดในท่อโดยของเหลวที่บรรจุอยู่ใน Inverted Tube manometer ค่าความถ่วงจำเพาะจะเบากว่าของเหลวที่เราต้องการวัด



ที่ระดับสมมติ O-O

$$P_A - \rho_f \cdot g \cdot l = P_B - \rho_f \cdot g (l-h) + \rho_m \cdot g \cdot h$$

$$P_A - P_B = g \cdot h (\rho_f - \rho_m)$$

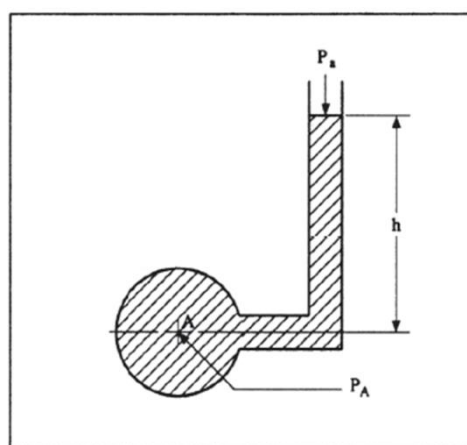
ใช้  $\rho_f$  หารตลอด

$$\frac{P_A - P_B}{\rho_f \cdot g} = h [1 - (\rho_m / \rho_f)]$$

$$P_A - P_B = \rho_f \cdot g \cdot h [1 - (\rho_m / \rho_f)] \quad \dots 3.5$$

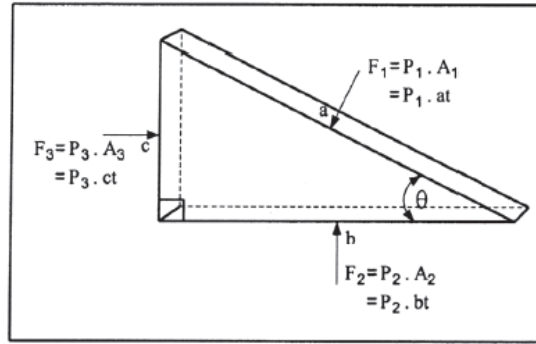
$$P_A - P_B = \rho_f \cdot g \cdot h [1 - (S_m / S_f)] \quad \dots 3.6$$

#### 5. การวัดความดันที่จุดของไหล (Measurement of Pressure at a Point)



### กฎของปาสกาล (Pascal's Law)

กฎของปาสกาลกล่าวไว้ว่า "ความดันของของไหลที่จุดใดจุดหนึ่งจะมีค่าเท่ากันทุกทิศทาง"จากการพิสูจน์พิจารณาของไหลก้นหนึ่งที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก ด้านทั้งสามยาว  $a, b$  และ  $c$  ตามลำดับ และมีความหนาเป็น  $t$  ดังรูป สมมติให้ความดันที่กระทำตั้งฉากกับด้าน  $a, b$  และ  $c$  เป็น  $P_1, P_2$  และ  $P_3$  ตามลำดับ เมื่อของไหลอยู่ในสภาวะสมดุล ผลรวมของแรงในแนวตั้ง และแนวระดับเท่ากับศูนย์ จะได้ว่า



เมื่อของไหลอยู่ในสภาวะสมดุล

$$F_1 \cos \theta = F_2$$

$$F_1 \cos \theta = F_3$$

จากสมการ 3.18 แทนค่า  $F_1 = P_1 at$  และ  $F_2 = P_2 bt$  จะได้

$$P_1 at \cos \theta = P_2 bt$$

แต่  $\cos \theta = \frac{b}{a}$

$$\therefore b = a \cos \theta$$

แทนค่า  $b$  ในสมการ 3.20  $P_1 at \cos \theta = P_2 at \cos \theta$

$$P_1 = P_2$$

จากสมการ 3.19 แทนค่า  $F_1 = P_1 at$  และ  $F_3 = P_3 ct$  จะได้

$$P_1 at \sin \theta = P_3 ct$$

แต่  $\sin \theta = \frac{c}{a}$

$$\therefore c = a \sin \theta$$

แทนค่า c ในสมการ 3.21

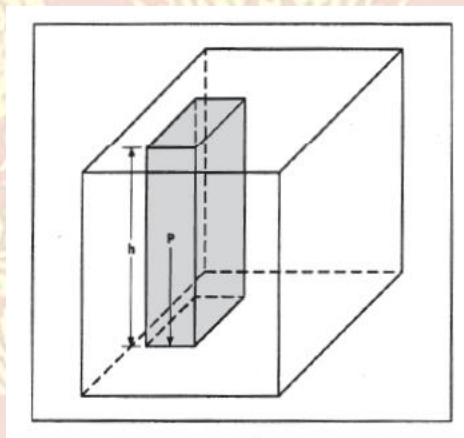
$$P_1 \text{ at } \sin \theta = P_3 \text{ at } \sin \theta$$

$$P_1 = P_3$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า  $P_1 = P_2 = P_3$  ดังนั้น ความดันทุกทิศทางจะมีค่าเท่ากันหมดตามกฎของปาสกาล น้ำหนักของก้อนของไหลนี้ไม่น่ามาคิด เพราะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงทั้งสาม ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อก้อนของของไหลมีขนาดเล็กมากจนเกือบจะเป็นจุด น้ำหนักจะมีค่าน้อยตามไปด้วย

### ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเฮด (Relation of Pressure and Head)

ความดันของของเหลวจะมีค่าแตกต่างกันที่ระดับความลึกต่างกัน ที่ระดับลึกมาก ๆ ความดันของของเหลวจะมีมาก ดังนั้น ความดันจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความลึกของของเหลว นั้น ของเหลวมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ A บรรจุอยู่ในภาชนะสูง h ความดันของของเหลวที่ก้นกล่องเท่ากับ P และปริมาตรของของเหลวมีค่าเท่ากับ Ah



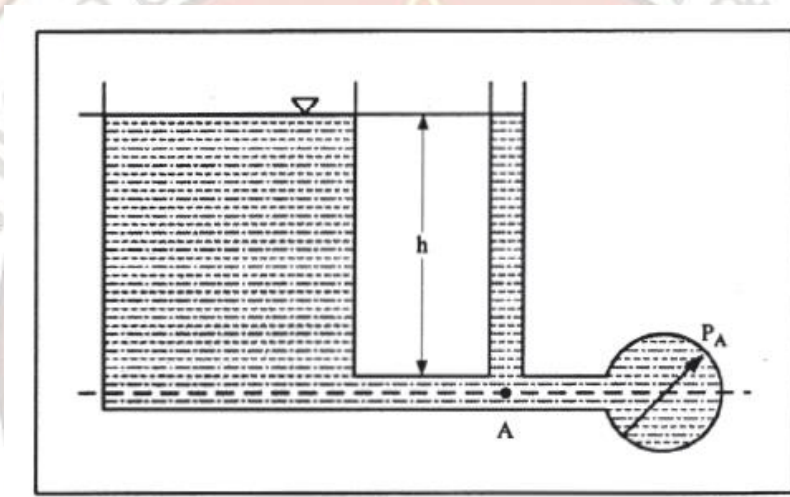
ความดันของของไหลมีค่าเท่ากับแรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ดังนั้น

|     |          |     |                |
|-----|----------|-----|----------------|
|     | $P$      | $=$ | $\frac{F}{A}$  |
| โดย | $F$      | $=$ | $m \cdot g$    |
|     | $\rho$   | $=$ | $\frac{m}{v}$  |
|     | $m$      | $=$ | $\rho \cdot v$ |
|     | $v$      | $=$ | $A \cdot h$    |
|     | $\gamma$ | $=$ | $\rho \cdot g$ |

เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{m \cdot g}{A} \\
 &= \frac{\rho \cdot v \cdot g}{A} \\
 &= \frac{\rho \cdot A \cdot h \cdot g}{A} \\
 &= \rho \cdot g \cdot h \\
 &= A \cdot h \\
 P &= \gamma \cdot h
 \end{aligned}$$

ความดันของของไหล เท่ากับน้ำหนักจำเพาะคูณด้วยความสูงของของไหลนั้น ดังนั้น  $P_A = \gamma \cdot h_A$  หมายความว่า ความดัน  $P_A$  ทำให้ของไหลซึ่งมีน้ำหนักจำเพาะ ( $\gamma$ ) ขึ้นไปได้สูงจากจุด A เป็นระยะเท่ากับ  $h_A$



ความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure กับ Head จากสูตร  $P = \gamma \cdot h$  เราสามารถเปลี่ยน Pressure เป็น Head หรือเปลี่ยน Head เป็น Pressure ได้ ที่จุด A วัด Gauge Pressure ได้  $P_A$  และวัด Head Pressure ได้  $= h_A$  ,  $P_A$  และ  $h_A$  ต่างหมายถึงค่าความดันที่อ่านได้ที่จุด A แต่  $P_A$  ไม่เท่ากับ  $h_A$

## 6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

### แบบฝึกหัดที่ 3 การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง

1. ความดัน 1 บรรยากาศมาตรฐาน หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

2. สูตรความดันสัมบูรณ์ที่อ่านได้จากเครื่องวัดสุญญากาศ ได้แก่อะไร

.....

.....

.....

3. เครื่องมือวัดความดันแบบบูดอง ใช้วัดความดันอย่างไร

.....

.....

.....

4. แมนอมิเตอร์แบบตัวยู ใช้วัดความดันอย่างไร

.....

.....

.....

5. ดิฟเฟอร์เรนเชียลแมนอมิเตอร์ใช้วัดความดันอย่างไร

.....

.....

.....

6. กฎของปาสกาลกล่าวไว้ว่าอย่างไร

.....

.....

.....

7. การอ่านค่าเป็นความดันสัมบูรณ์หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

8. การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

9. บารอมิเตอร์ คืออะไร

.....

.....

.....

10. Head Pressure คืออะไร

.....

.....

.....



## 7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

## 8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

### เฉลยแบบฝึกหัดที่ 3 การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง

#### 1. ความดัน 1 บรรยากาศมาตรฐาน หมายถึงอะไร

ความดัน 1 บรรยากาศมาตรฐาน หมายถึง ความดันที่เกิดจากน้ำหนักของอากาศในบรรยากาศโลก

#### 2. สูตรความดันสัมบูรณ์ที่อ่านได้จากเครื่องวัดสุญญากาศ ได้แก่อะไร

ความดันสัมบูรณ์ = ความดันของบรรยากาศ + ความดันที่อ่านจากเกจ

#### 3. เครื่องมือวัดความดันแบบบูตอง ใช้วัดความดันอย่างไร

เครื่องมือวัดความดันแบบบูตอง ใช้วัดความดันที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความดันบรรยากาศได้ และสามารถวัดความดันเกจได้ ถ้าต้องการหาความดันสัมบูรณ์ก็ต้องนำค่าที่อ่านได้ไปบวกกับความดันบรรยากาศ

#### 4. แมนอมิเตอร์แบบตัวยู ใช้วัดความดันอย่างไร

แมนอมิเตอร์แบบตัวยู ใช้วัดความดันแตกต่างระหว่างจุดสองจุดในท่อ

#### 5. ดิฟเฟอร์เรนเชียลแมนอมิเตอร์ใช้วัดความดันอย่างไร

ดิฟเฟอร์เรนเชียลแมนอมิเตอร์ใช้วัดความดันระหว่างจุดสองจุดของความดันสองอัน

#### 6. กฎของปาสกาลกล่าวไว้ว่าอย่างไร

กฎของปาสกาลกล่าวไว้ว่าความดันของของไหลที่จุดใดจุดหนึ่งจะมีค่าเท่ากันทุกทิศทาง

#### 7. การอ่านค่าเป็นความดันสัมบูรณ์หมายถึงอะไร

การอ่านค่าเป็นความดันสัมบูรณ์ หมายถึง ความดันที่อ่านได้ ณ จุดใด เมื่อเทียบกับจุดที่เป็นสุญญากาศโดยสัมบูรณ์

#### 8. การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง หมายถึงอะไร

การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง หมายถึง ของไหลที่ไม่มีการเคลื่อนที่และไม่มีความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของของไหลนั้น ๆ โดยไม่คำนึงถึงความหนืด ความเค้นเฉือนระหว่างของของไหล

#### 9. บารอมิเตอร์ คืออะไร

บารอมิเตอร์ คือ เครื่องมือที่ใช้วัดความดันของบรรยากาศของเหลวที่บรรจุในภาชนะ

#### 10. Head Pressure คืออะไร

Head Pressure คือ วัดเป็นความสูงของลำของเหลวโดยลำของของเหลวจะมีพื้นที่หน้าตัดเท่าใดก็ได้

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบงาน ที่ 2                                               | หน่วยที่ ... 3               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 6-7              |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง         | ทฤษฎี 6 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง                                           |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับความดันของไหลที่หยุดนิ่ง

3.2. คำนวณหาความดันของของไหลที่หยุดนิ่ง

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายการวัดความดันแบบต่าง ๆ ได้ถูกต้อง

4.2 อธิบายหลักการของปาสคาลได้ถูกต้อง

4.3 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเฮดได้ถูกต้อง

4.4 คำนวณหาความดันของของไหลในท่อได้ถูกต้อง

4.5 คำนวณหาความดันโดยใช้แมนอมิเตอร์แบบตัวยูได้ถูกต้อง

### 5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

1. แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ใบความรู้ที่ 1

3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

### 6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

ไม่มี

### 7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. นำเข้าสู่บทเรียน โดยใช้คำถามนำเข้าสู่ เช่น

- การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่งหมายถึงอะไร

2. ผู้เรียนอธิบายความหมายของการสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง

การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง หมายถึง ของไหลที่ไม่มีการเคลื่อนที่และไม่มีความเร็วสัมพันธ์ระหว่างชั้นของของไหลนั้น โดยไม่คำนึงถึงความหนืด ความเค้นเฉือนระหว่างของของไหล

ขั้นสอน

1. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการวัดความดัน

การวัดความดัน โดยทั่วไปวัดได้ 3 แบบ คือ

1) วัดเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

2) วัดเป็นความสูงของลำของเหลว โดยลำของของเหลวจะมีพื้นที่หน้าตัดเท่าใดก็ได้

3) วัดเป็นบรรยากาศ โดยวัดเป็นกิโลเมตรของบรรยากาศมาตรฐาน ความดัน 1 บรรยากาศมาตรฐาน หมายถึง ความดันที่เกิดจากน้ำหนักของอากาศในบรรยากาศโลก ซึ่งมีผลทำให้พื้นที่หรือจุดใด ๆ ณ ระดับน้ำทะเลและที่อุณหภูมิ 32 °F หรือ 0 °C

2. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการอ่านค่าความดัน

การอ่านค่าความดัน โดยทั่วไปอ่านได้ 3 แบบ คือ

1) อ่านค่าเป็นความดันสัมบูรณ์ หมายถึง ความดันที่อ่านได้ ณ จุดใด เมื่อเทียบกับจุดที่เป็นสุญญากาศโดยสัมบูรณ์

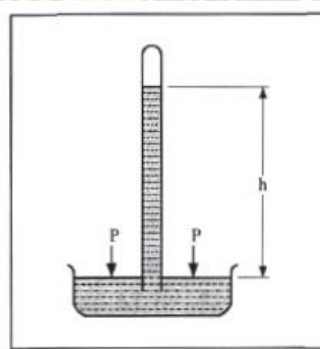
2) อ่านค่าเป็นความดันมาตร หมายถึง ความดันที่อ่านได้ ณ จุดใด ๆ เมื่อเทียบกับจุดที่เป็นความดันบรรยากาศ ณ ที่นั้น โดยใช้บรรยากาศ ณ ที่นั้นเป็นระดับอ้างอิงในการวัด

3) อ่านเป็นความดันแตกต่าง หมายถึง ความดันที่อ่านได้จากผลต่างระหว่างความดันของจุดสองจุด ใช้ระดับสมมติเป็นจุดอ้างอิง

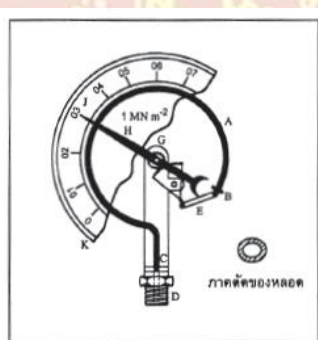
3. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเครื่องมือที่ใช้วัดความดัน

เครื่องมือที่ใช้วัดความดันโดยทั่วไปมีหลายชนิดด้วยกัน ดังนี้

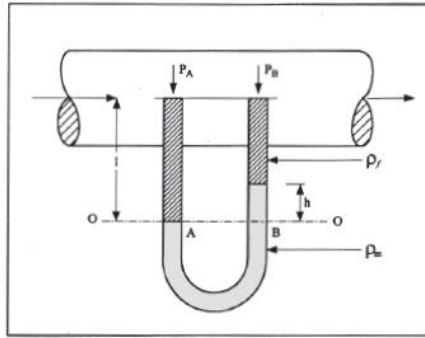
1) บารอมิเตอร์ ใช้วัดความดันของบรรยากาศของเหลวที่บรรจุในภาชนะเป็นปรอท ความสูงของปรอทในหลอดแก้วที่เหนือระดับน้ำทะเลหรือ 1 บรรยากาศเท่ากับ 760 มิลลิเมตร หรือเท่ากับ 33.9 ฟุตน้ำ ดังรูป



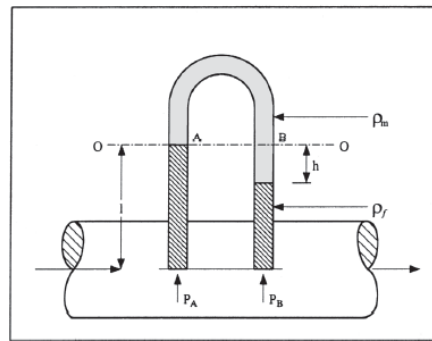
2) เครื่องวัดความดันแบบบูตง ใช้วัดความดันที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความดันบรรยากาศ และสามารถวัดความดันเกจ ถ้าต้องการหาความดันสัมบูรณ์ก็ต้องนำค่าที่อ่านได้ไปบวกกับความดันบรรยากาศ ดังรูป



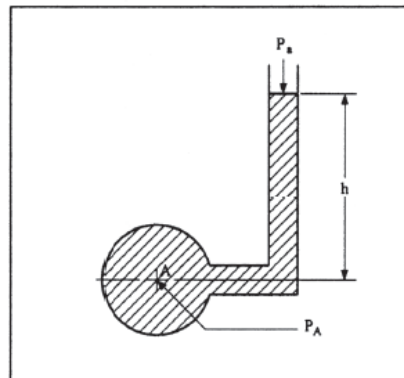
3) แมนอมิเตอร์แบบตัวยู ใช้วัดความดันแตกต่างระหว่างจุดสองจุดในท่อ ดังรูป



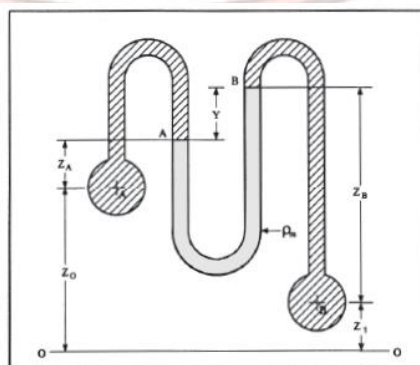
4) แมนอมิเตอร์แบบตัวยู-คว่ำ ใช้วัดความดันแตกต่างระหว่างจุดสองจุดในท่อโดยของเหลวที่บรรจุอยู่ในค่าความถ่วงจำเพาะจะเบากว่าของเหลวที่เราต้องการวัด ดังรูป



5) การวัดความดันที่จุดของของไหล เป็นการวัดความดันที่จุดของของไหล ดังรูป

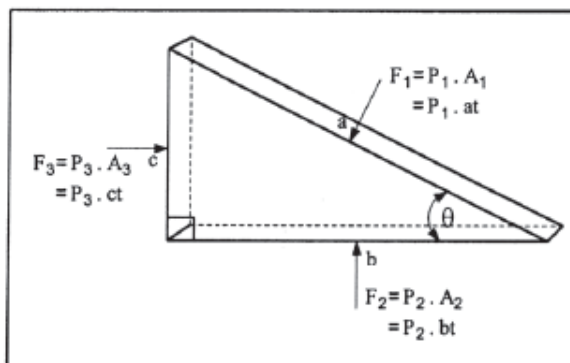


6) ดิฟเฟอเรนเชียลแมนอมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความดันแตกต่างระหว่างจุดสองจุดของความดันสองอัน ดังรูป



#### 4. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายกฎของปาสกาล

กฎของปาสกาลกล่าวไว้ว่า ความดันของของไหลที่จุดใดจุดหนึ่งจะมีค่าเท่ากันทุกทิศทางจากการพิสูจน์พิจารณาของไหลก่อนหนึ่งที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก ดังรูป



#### 5. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเฮด

ความดันของของเหลวจะมีค่าแตกต่างกันที่ระดับความลึกต่างกัน ที่ระดับลึกมาก ๆ ความดันของของเหลวจะมีมาก ดังนั้นความดันจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความลึกของของเหลว

##### ขั้นสรุป

1. ครูและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาที่เรียน
2. ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด

#### 8. สรุปและวิจารณ์ผล

ของไหลที่อยู่นิ่งคือ ของไหลที่ไม่มีการเคลื่อนที่ ไม่มีความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างชั้นของของไหลและไม่คำนึงถึงความหนืด ความเค้นเฉือน เราเรียกว่า การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวัดความดัน กฎของปาสกาล และความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความดันที่อยู่ในรูปความสูงของของไหล

#### 9. การประเมินผล

1. เกณฑ์ผ่านการสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
2. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้ มีเกณฑ์ผ่าน 50%

#### 10. เอกสารอ้างอิง/เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

**แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 1**  
**รายวิชา รายวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล รหัสวิชา 30101-2001**  
**เรื่อง การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง**

ชื่อ.....สกุล.....ระดับชั้น ..... สาขาวิชา.....กลุ่ม.....

| ลำดับที่ | หัวข้อการประเมิน                                        | ระดับคะแนน |   |   |   |   | หมายเหตุ |
|----------|---------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|----------|
|          |                                                         | 5          | 4 | 3 | 2 | 1 |          |
| 1        | ด้านคุณธรรม จริยธรรม<br>เข้าเรียนตรงต่อเวลา             |            |   |   |   |   |          |
| 2        | มีวินัย และแต่งกายถูกระเบียบ                            |            |   |   |   |   |          |
| 3        | มีความมุ่งมั่น และตั้งใจปฏิบัติงาน                      |            |   |   |   |   |          |
| 4        | มีการทำงานร่วมกับผู้อื่น หรือเป็นทีม                    |            |   |   |   |   |          |
| 5        | ส่งงานในเวลาที่กำหนด                                    |            |   |   |   |   |          |
| 6        | ด้านทักษะการปฏิบัติงาน<br>การปฏิบัติงานเป็นไปตามขั้นตอน |            |   |   |   |   |          |
| 7        | แบบงานมีความประณีต และสวยงาม                            |            |   |   |   |   |          |
| 8        | แบบงานถูกต้องตามหลักวิชาการ                             |            |   |   |   |   |          |
| 9        | ปฏิบัติงานเสร็จสิ้นตามเวลาที่กำหนด                      |            |   |   |   |   |          |
| 10       | มีสุขภาพดีของความปลอดภัย                                |            |   |   |   |   |          |
|          | รวมคะแนน                                                |            |   |   |   |   |          |

สรุปผลการประเมิน ผ่าน ไม่ผ่าน คะแนนที่ได้.....

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน  
 (.....)  
 ...../...../.....

**แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล**  
**หน่วยที่ 1 เรื่อง การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง**

**คำชี้แจง** ให้ทำเครื่องหมาย ✓ และหากผู้เรียนมีพฤติกรรมนั้น ลงในช่องรายการ

| ที่ | ชื่อ-นามสกุล | การแสดงพฤติกรรมของผู้เรียนในระหว่างเรียน |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   | รวมคะแนน |                       |   |   |   |
|-----|--------------|------------------------------------------|---|---|---|--------------------|---|---|---|-------------|---|---|---|--------------------|---|---|---|----------|-----------------------|---|---|---|
|     |              | การสนใจเรียน                             |   |   |   | การแสดงความคิดเห็น |   |   |   | การตอบคำถาม |   |   |   | การยอมรับฟังคนอื่น |   |   |   |          | ทำงานตามที่ครูมอบหมาย |   |   |   |
|     |              | 4                                        | 3 | 2 | 1 | 4                  | 3 | 2 | 1 | 4           | 3 | 2 | 1 | 4                  | 3 | 2 | 1 |          | 4                     | 3 | 2 | 1 |
| 1   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 2   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 3   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 4   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 5   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 6   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 7   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 8   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 9   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 10  |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |

**เกณฑ์การวัดผล** ให้คะแนนระดับคุณภาพของแต่ละพฤติกรรมดังนี้

1. ดีมาก = 4 สนใจฟัง ไม่หลับ ไม่พูดคุยในชั้น มีคำถาม ตอบคำถามถูก ทำงานส่งตามเวลาอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 90 - 100%
2. ดี = 3 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 70 - 89%
3. ปานกลาง = 2 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 50 - 69 %
4. ปรับปรุง = 1 เข้าชั้นเรียน แต่การแสดงออกน้อยมาก ส่งงานไม่ครบ ส่งงานไม่ตรงเวลา

**เกณฑ์การประเมิน**

คะแนนรวมตามแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

ลงชื่อ .....ครูผู้สอนสังเกต  
 (.....)

**วิทยาลัยการอาชีพบางสะพาน**  
**แบบประเมินด้านคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์**

สาขาวิชา.....สาขางาน.....ระดับชั้น.....กลุ่ม.....

| ลำดับ<br>ที่ | ชื่อ-สกุล | รายการประเมิน    |               |           |             |         |           |         |           |       |            | คะแนนรวม | คะแนนเฉลี่ย |
|--------------|-----------|------------------|---------------|-----------|-------------|---------|-----------|---------|-----------|-------|------------|----------|-------------|
|              |           | ยึดมั่นในสถาบันฯ | ละเว้นอบายมุข | ความเมตตา | ความสามัคคี | จิตอาสา | ซื่อสัตย์ | ประหยัด | ซื่อสัตย์ | สุภาพ | ตรงต่อเวลา |          |             |
| 1            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 2            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 3            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 4            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 5            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 6            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 7            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 8            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 9            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 10           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 11           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 12           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 13           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 14           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 15           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 16           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 17           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 18           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 19           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 20           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |

หมายเหตุ

- เกณฑ์การประเมินคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์

- 3 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนแสดงประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอและเป็นผู้ทำได้  
 2 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอ  
 1 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติไม่สม่ำเสมอ  
 0 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนไม่ประพฤติปฏิบัติ

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | แผนการจัดการเรียนรู้                                      | หน่วยที่ ... 4               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 8-9              |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม             | ทฤษฎี 6 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง/งาน แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม                                           |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

- 3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับแรงที่เกิดจากของเหลวกระทำต่อวัตถุ
- 3.2. คำนวณแรงที่เกิดจากของเหลวกระทำต่อวัตถุที่อยู่ในของเหลว

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1 อธิบายหลักการของแรงกระทำกับแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลวได้ถูกต้อง
- 4.2 อธิบายหลักการหาตำแหน่งที่แรงกระทำในแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลวได้ถูกต้อง
- 4.3 คำนวณหาแรงที่กระทำกับแผ่นราบได้ถูกต้อง
- 4.4 คำนวณหาตำแหน่งที่แรงกระทำกับแผ่นราบได้ถูกต้อง
- 4.5 คำนวณหาแรงที่กระทำกับแผ่นโค้งที่จมอยู่ภายใต้ของเหลวได้ถูกต้อง

### 5. สาระการเรียนรู้

- 5.1 แรงที่กระทำบนแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว
- 5.2 การหาตำแหน่งที่แรงกระทำ
- 5.3 แรงที่กระทำบนแผ่นโค้งที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว

### 6. กิจกรรมการเรียนรู้

#### 6.1 การนำเข้าสู่บทเรียน

1. นำเข้าสู่บทเรียน โดยใช้คำถามนำเข้าสู่ เช่น
  - แรงที่กระทำกับวัตถุที่จมคืออะไร
2. ครูให้ผู้เรียนยกตัวอย่างแรงที่กระทำกับวัตถุที่จม

แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม คือ วัตถุลักษณะต่าง ๆ ที่จมอยู่ในของเหลวใด ๆ จะมีแรงจากของเหลวนั้นกระทำ จำเป็นอย่างยิ่ง ต้องหาแรงที่กระทำกับตำแหน่งที่แรงนั้นกระทำกับวัตถุเพื่อในการออกแบบการใช้งานให้เหมาะสมกับวัสดุที่ใช้นั้น เช่น เชือกกันน้ำ เป็นต้น

#### 6.2 การเรียนรู้

- 6.2.1 หนังสือเรียน วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ของสำนักพิมพ์เอ็มพันธ์
- 6.2.2 สื่ออิเล็กทรอนิกส์ และ Power Point
- 6.2.3 กิจกรรมการเรียนการสอน
- 6.2.4 รูปภาพประกอบ
- 6.2.5 แบบหุ่นจำลอง

### 6.3 การสรุป

6.3.1 สรุปบทเรียนส่วนที่เป็นสาระสำคัญ

### 6.4 การวัดและประเมินผล

6.4.1. สังเกตพฤติกรรมรายบุคคล

6.4.2. กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้

6.4.3. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้

6.4.4 แบบประเมินผลการปฏิบัติงานและแบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม

### 7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

7.1. Power Point เรื่อง แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม

### 8. หลักฐานการเรียนรู้

#### 8.1 หลักฐานความรู้

1. เอกสารรับรองจากการทดสอบความรู้

#### 8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน

1. แบบบันทึกความคิดเห็นของครูผู้สอน

2. แบบรับรองการปฏิบัติงานจากสถานประกอบการ

3. แบบบันทึกรายการจากการสังเกตจากการปฏิบัติงาน

### 9. การวัดและประเมินผล

#### 9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน

1. วางแผนและเตรียมความพร้อมในการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม

2. สรุปผลการวางแผนช่องทางการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม

#### 9.2 วิธีการประเมิน

1. พิจารณาหลักฐานความรู้

2. พิจารณาหลักฐานการปฏิบัติงาน

#### 9.3 เครื่องมือประเมิน

1. แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ใบความรู้ที่ 1

3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

## 10. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

### 10.1 ข้อสรุปหลังการจัดการเรียนรู้

---

---

---

### 10.2 ปัญหาที่พบ

---

---

---

### 10.3 แนวทางแก้ปัญหา

---

---

---



|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบความรู้ ที่ 1                                           | หน่วยที่ ... 4               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 8-9              |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม             | ทฤษฎี 6 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม                                               |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

- 3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับแรงที่เกิดจากของเหลวกระทำต่อวัตถุ
- 3.2. คำนวณแรงที่เกิดจากของเหลวกระทำต่อวัตถุที่อยู่ในของเหลว

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1 อธิบายหลักการของแรงกระทำกับแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลวได้ถูกต้อง
- 4.2 อธิบายหลักการหาตำแหน่งที่แรงกระทำในแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลวได้ถูกต้อง
- 4.3 คำนวณหาแรงที่กระทำกับแผ่นราบได้ถูกต้อง
- 4.4 คำนวณหาตำแหน่งที่แรงกระทำกับแผ่นราบได้ถูกต้อง
- 4.5 คำนวณหาแรงที่กระทำกับแผ่นโค้งที่จมอยู่ภายใต้ของเหลวได้ถูกต้อง

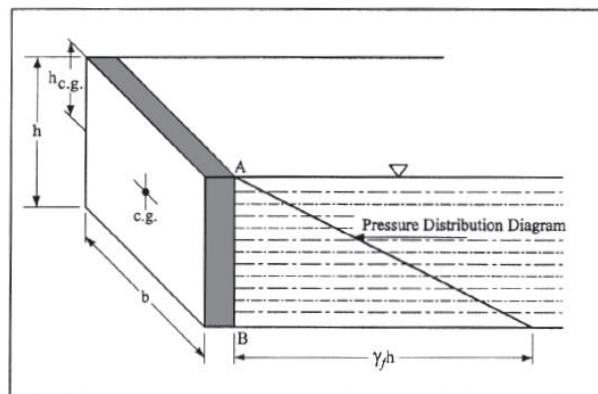
### 5. เนื้อหาสาระ

#### แรงที่กระทำบนแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว (Force on Plane Area)

ความดันที่กระทำกับวัตถุที่จมนั้นมีค่ามากขึ้นอยู่กับค่าความสูงหรือค่าความลึก (Head) ของของเหลว จากรูปที่จุด A มีค่าความดัน  $P_A = \gamma_f \cdot h$

โดย ค่า  $h=0$ , ดังนั้นความดัน  $P_A$  มีค่าเท่ากับศูนย์ ความดันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมากที่สุด ที่จุด B ดังนั้นความดันที่จุด B มีค่า  $P_B = \gamma_f \cdot h$

เมื่อเขียนไดอะแกรมของความดันที่เกิดจากของของเหลวกระทำบนแผ่นราบ (Plane Area) จะได้รูปสามเหลี่ยม ซึ่งเรียกว่า Pressure Distribution Diagram



จากสูตร  $P = \frac{F}{A}$   
 ดังนั้น  $F = P \cdot A$

แรงที่กระทำ (F) กระทำลงบน Plane Area จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความดัน (P)

ที่จุด A, มีค่า  $F_A = P_A \cdot A$   
 $= 0 \cdot A$

ที่จุด B, มีค่า  $F_B = P_B \cdot A$   
 $F_B = \gamma_f \cdot h \cdot A$

เพราะว่า  $F_{AVERAGE} = P_{AVERAGE} \cdot A$   
 $P_{AVERAGE} = \frac{P_A + P_B}{2}$   
 $= \frac{1}{2} \gamma_f \cdot h$

$A =$  พื้นที่ภาชนะที่ของเหลวออกแรงกระทำ  $= b \cdot h$

เพราะฉะนั้น  $F = \frac{1}{2} \gamma_f \cdot h \cdot g \cdot h$

โดย  $h_{c.g.}$  คือระยะจากระดับน้ำถึง c.g. ของประตู  $\frac{h}{2}$

ดังนั้น แรงที่กระทำบนแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว คือ

$$F = \gamma_f \cdot h_{c.g.} \cdot A$$

โดย

$F =$  แรงที่กระทำบนแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว

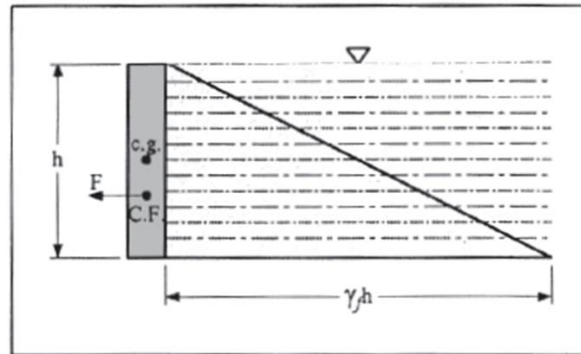
$\gamma_f =$  เป็นน้ำหนักจำเพาะของของเหลว

$h_{c.g.} =$  ระยะจากระดับน้ำถึง c.g. ของประตู

$A =$  พื้นที่ผิวของภาชนะที่ของเหลวออกแรงกระทำ

### การหาตำแหน่งที่แรงกระทำ(Center of Pressure)

จุดที่แรงกระทำกับแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว ถ้าเป็นของของเหลวชนิดเดียวกันออกแรงกระทำกับแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลวนั้น โดยระดับของของเหลวสูงเท่ากับความสูงของแผ่นราบที่จมอยู่ใต้ของเหลว แนวแรงที่กระทำประตู่จะผ่านจุดศูนย์ถ่วงของ Pressure Distribution Diagram ตำแหน่งที่แรงกระทำกับแผ่นราบที่จมอยู่ใต้ของเหลวอยู่ในแนวเดียวกันกับจุดศูนย์ถ่วงของแผ่นราบนั้น ระดับความสูงของของเหลวอยู่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าระดับแผ่นราบ ตำแหน่งที่แรงกระทำ (Center of Pressure) จะไม่ผ่านจุดศูนย์ถ่วงของแผ่นราบนั้น



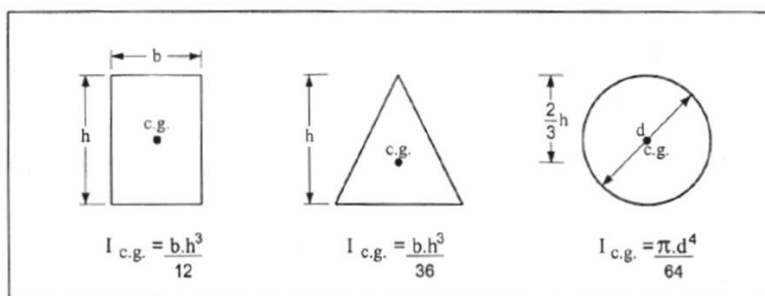
จะได้ตำแหน่งที่แรงกระทำ ดังนี้

$$Y_{C.F.} = \frac{I_{c.g.}}{y_{c.g.} \cdot A} + y_{c.g.}$$

โดย

- $Y_{C.F.}$  = ระยะที่แรงกระทำบนแผ่นราบถึงระดับน้ำ โดยวัดตามแนว Plane ประตู่
- $y_{c.g.}$  = ระยะจากจุด c.g. ของแผ่นราบถึงระดับน้ำ โดยวัดตามแนว Plane ประตู่
- $I_{c.g.}$  = โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (Moment of Inertia of Area) รอบแนว c.g. ของแผ่นราบ
- $A$  = พื้นที่ของแผ่นราบที่ของเหลวออกแรงกระทำ

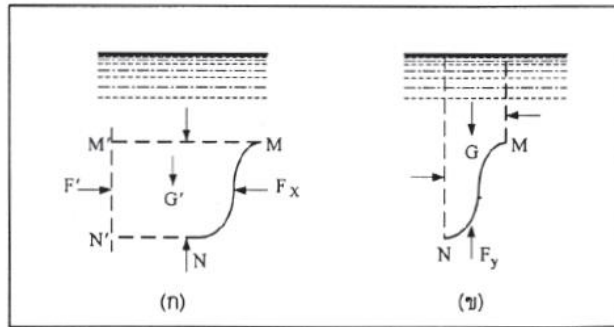
ค่า  $I_g$  ของแผ่นราบลักษณะต่างๆ



### แรงที่กระทำบนแผ่นโค้งที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว (Force on Curved Surface)

การหาค่าของแรงและตำแหน่งที่แรงกระทำ บนแผ่นโค้งที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว แรงที่กระทำกับแผ่นโค้งจะมีอยู่สองแนวคือแนวนอนกับแนวตั้ง เมื่อหาแรงในแนวทั้งสองได้แล้วนำมารวมกัน การหาค่าตำแหน่งที่แรงกระทำค่าของพื้นที่และค่าของโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ ( $I_{c.g.}$ ) ต้องเป็นพื้นที่

ของภาพฉาย ซึ่งหาได้จาก  $Y_{C.F.} = \frac{I_{c.g.}}{y_{c.g.} \cdot A} + y_{c.g.}$



จากรูป (ก) หาแรงในแนวแกนอน (แกน x) ได้เมื่อปริมาตรของของเหลวอยู่ในสภาวะสมดุล

$$\begin{aligned} F_x &= F' & (\gamma_f \cdot h_{c.g.} \cdot A)^2 \\ \text{โดย} \quad F' &= \gamma_f \cdot h_{c.g.} \cdot A \\ \text{ดังนั้น} \quad F_x &= \gamma_f \cdot h_{c.g.} \cdot A \end{aligned}$$

หาแรงในแนวแกนตั้ง (แกน y) ได้เมื่อปริมาตรของของเหลวอยู่ในสภาวะสมดุล จากรูป (ข)

$$\begin{aligned} F_y &= G \\ \text{โดย} \quad G &= \text{น้ำหนักของของเหลวที่กระทำกับแผ่นโค้งที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว} \\ F_y &= \text{แรงกระทำบนแผ่นผิวโค้ง} \end{aligned}$$

นำแรง  $F_x$  และ  $F_y$  มารวมกันทางเวกเตอร์

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad F_x &= \sqrt{(F_x)^2 + (F_y)^2} \\ F_R &= \sqrt{(\gamma_f \cdot h_{c.g.} \cdot A)^2 + G^2} \end{aligned}$$

นั่นคือ แรงที่กระทำบนแผ่นโค้งที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว

**วิธีทำ**

แผ่นราบแผ่นหนึ่งมีพื้นที่  $20 \text{ m}^2$  มีความสูง  $2 \text{ m}$  จมอยู่ในน้ำในแนวตั้งฉากกับพื้น จงหาแรงที่กระทำบนแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ น้ำ

จากสูตร  $F = \gamma_f \cdot h_{c.g.} \cdot A$

โดย  $F =$  แรงที่กระทำบนแผ่นราบที่จมอยู่ในน้ำ

$\gamma_f =$  น้ำหนักจำเพาะของน้ำ

$\gamma_f = \rho_f \cdot g$

$\gamma_f = 1,000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2$

$\gamma_f = 9.81 \text{ KN/m}^3$

$h_{c.g.} = \frac{h}{2}$

$= \frac{2}{2}$

$= 1 \text{ m}$

$A =$  พื้นที่ผิวของแผ่นราบ  $20 \text{ m}^2$

$F = 9.81 \text{ KN/m}^3 \times 1 \text{ m} \times 20 \text{ m}^2$

$F = 196.2 \text{ KN}$

ตอบ

## 6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

### แบบฝึกหัดที่ 4 แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม

1. ความดันที่กระทำกับวัตถุที่จมอยู่ในของเหลวมีค่าเปลี่ยนแปลงตามระดับของอะไร

.....

.....

.....

2. ระยะ  $h_{c.g.}$  คืออะไร

.....

.....

.....

3. ระยะ  $Y_{C.F.}$  คืออะไร

.....

.....

.....

4. Pressure Distribution Diagram คืออะไร

.....

.....

.....

5. Plane Area หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

6. จุดศูนย์ถ่วงของวัตถุ คืออะไร

.....

.....

.....

7.  $I_{c.g.}$  คืออะไร

.....

.....

.....

8.  $Y_{c.g.}$  คืออะไร

.....

.....

.....

9. แรงที่กระทำกับแผ่นโค้งที่จมอยู่ในของเหลวมีอยู่ในแนวใดบ้าง

.....

.....

.....

10. เมื่อของไหลกระทำกับพื้นผิวของของแข็ง ถ้าของไหลนั้นอยู่นิ่งทำให้เกิดอะไร

.....

.....

.....



## 7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

## 8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

### เฉลย แบบฝึกหัดที่ 4 แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม

- ความดันที่กระทำกับวัตถุที่จมอยู่ในของเหลวมีค่าเปลี่ยนแปลงตามระดับของอะไร  
ความดันที่กระทำกับวัตถุที่จมอยู่ในของเหลวมีค่าเปลี่ยนแปลงตามระดับของความลึกของวัตถุ
- ระยะ  $h_{c.g.}$  คืออะไร  
ระยะ  $h_{c.g.}$  คือระยะจากระดับน้ำถึง c.g. ของประตู่
- ระยะ  $Y_{C.F.}$  คืออะไร  
ระยะ  $Y_{C.F.}$  คือระยะที่แรงกระทำบนแผ่นราบถึงระดับน้ำ โดยวัดตามแนว Plane ประตู่
- Pressure Distribution Diagram คืออะไร  
Pressure Distribution Diagram คือ ตำแหน่งที่แรงกระทำกับแผ่นราบที่จมอยู่ใต้ของเหลวอยู่ในแนวเดียวกับจุดศูนย์กลางของแผ่นราบนั้น
- Plane Area หมายถึงอะไร  
Plane Area หมายถึง แรงที่กระทำบนแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว
- จุดศูนย์กลางของวัตถุ คืออะไร  
จุดศูนย์กลางของวัตถุ คือ ตำแหน่งที่มวลรวมของวัตถุอยู่ซึ่งจุดนี้อาจจะอยู่ในหรือนอกวัตถุก็ได้
- $I_{c.g.}$  คืออะไร  
 $I_{c.g.}$  คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่รอบแนว c.g. ของแผ่นราบ
- $Y_{c.g.}$  คืออะไร  
 $Y_{c.g.}$  คือ ระยะจากจุด c.g. ของแผ่นราบถึงระดับน้ำ โดยวัดตามแนว Plane ประตู่
- แรงที่กระทำกับแผ่นโค้งที่จมอยู่ในของเหลวมีอยู่ในแนวใดบ้าง  
แรงที่กระทำกับแผ่นโค้งที่จมอยู่ในของเหลวมีอยู่ในแนวนอนและแนวตั้ง
- เมื่อของไหลกระทำกับพื้นผิวของของแข็ง ถ้าของไหลนั้นอยู่นิ่งทำให้เกิดอะไร  
เมื่อของไหลกระทำกับพื้นผิวของของแข็ง ถ้าของไหลนั้นอยู่นิ่งทำให้เกิดค่าคงที่ของของเหลว

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบงาน ที่ 4                                               | หน่วยที่ ... 4               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 8-9              |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม             | ทฤษฎี 6 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม                                               |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

- 3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับแรงที่เกิดจากของเหลวกระทำต่อวัตถุ
- 3.2. คำนวณแรงที่เกิดจากของเหลวกระทำต่อวัตถุที่อยู่ในของเหลว

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1 อธิบายหลักการของแรงกระทำกับแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลวได้ถูกต้อง
- 4.2 อธิบายหลักการหาตำแหน่งที่แรงกระทำในแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลวได้ถูกต้อง
- 4.3 คำนวณหาแรงที่กระทำกับแผ่นราบได้ถูกต้อง
- 4.4 คำนวณหาตำแหน่งที่แรงกระทำกับแผ่นราบได้ถูกต้อง
- 4.5 คำนวณหาแรงที่กระทำกับแผ่นโค้งที่จมอยู่ภายใต้ของเหลวได้ถูกต้อง

### 5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

1. แบบทดสอบก่อนเรียน
2. ใบความรู้ที่ 1
3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

### 6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

ไม่มี

### 7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ชั้นนำเข้าสู่บทเรียน

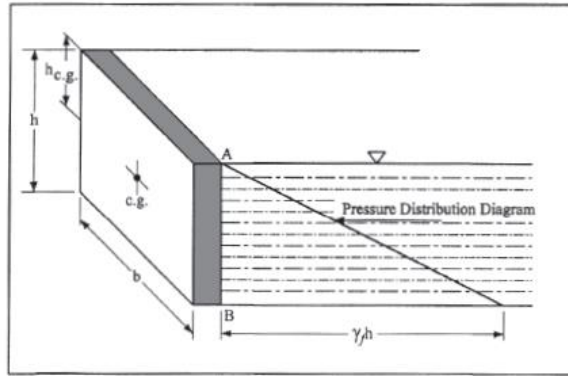
1. นำเข้าสู่บทเรียน โดยใช้คำถามนำ เช่น  
- แรงที่กระทำกับวัตถุที่จมคืออะไร

2. ครูให้ผู้เรียนยกตัวอย่างแรงที่กระทำกับวัตถุที่จม

แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม คือ วัตถุลักษณะต่าง ๆ ที่จมอยู่ในของเหลวใด ๆ จะมีแรงจากของเหลวที่กระทำ  
จำเป็นอย่างยิ่ง ต้องหาแรงที่กระทำกับตำแหน่งที่แรงนั้นกระทำกับวัตถุเพื่อในการออกแบบการใช้งานให้เหมาะสมกับ  
วัสดุที่ใช้นั้น เช่น เชือกกันน้ำ เป็นต้น

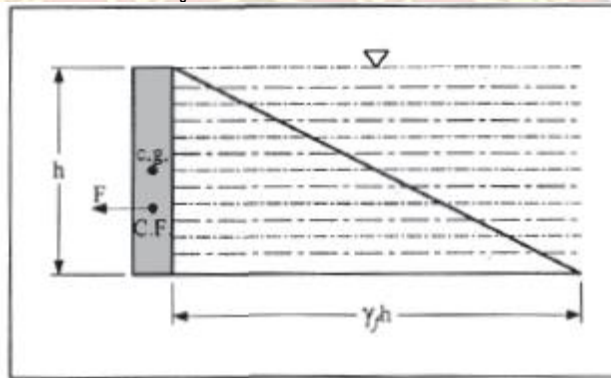
ขั้นสอน

1. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายแรงที่กระทำบนแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว  
ความดันที่กระทำกับวัตถุที่จมนั้นมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความสูงหรือค่าความลึกของของเหลว ดังรูป



## 2. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการหาตำแหน่งที่แรงกระทำ

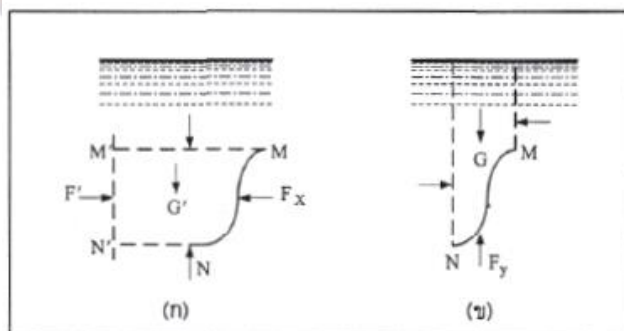
จุดที่แรงกระทำกับแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว ถ้าเป็นของของเหลวชนิดเดียวกันออกแรงกระทำกับแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลวนั้น โดยระดับของของเหลวสูงเท่ากับความสูงของแผ่นราบที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว แนวแรงที่กระทำจะผ่านจุดศูนย์ถ่วงของตำแหน่งที่แรงกระทำกับแผ่นราบที่จมอยู่ใต้ของเหลวที่อยู่ในระดับแนวเดียวกันกับจุดศูนย์ถ่วงของแผ่นราบนั้น ถ้าระดับความสูงของของเหลวอยู่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าระดับแผ่นราบ ตำแหน่งที่แรงกระทำ จะไม่ผ่านจุดศูนย์ถ่วงของแผ่นราบนั้น ดังรูป



## 3. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายแรงที่กระทำบนแผ่นโค้งที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว

การหาค่าของแรงและตำแหน่งที่แรงกระทำ บนแผ่นโค้งที่จมอยู่ภายใต้ของเหลว แรงที่กระทำกับแผ่นโค้งจะมีอยู่สองแนวคือ แนวนอนกับแนวตั้ง เมื่อหาแรงในแนวทั้งสองได้แล้วนำมารวมกัน การหาตำแหน่งที่แรงกระทำค่าของพื้นที่ และค่าของโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ต้องเป็นพื้นที่ของภาพฉาย ซึ่งหาได้จาก

$$Y_{CF} = \frac{I_{cg}}{y_{cg} \cdot A} + y_{cg}$$



## ขั้นสรุป

1. ครูและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาที่เรียน
2. ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด

## 8. สรุปและวิจารณ์ผล

วัตถุลักษณะต่าง ๆ ที่จมอยู่ในของเหลวใด ๆ จะมีแรงจากของเหลวนั้นกระทำ จำเป็นอย่างยิ่ง ต้องหาแรงที่กระทำกับตำแหน่งที่แรงนั้นกระทำกับวัตถุเพื่อในการออกแบบการใช้งานให้เหมาะสมกับวัสดุที่ใช้นั้น เช่น เชื้อนก้นน้ำ เป็นต้น

## 9. การประเมินผล

1. เกณฑ์ผ่านการสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
2. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้ มีเกณฑ์ผ่าน 50%

## 10. เอกสารอ้างอิง/เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม



**แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 1**  
**รายวิชา รายวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล รหัสวิชา 30101-2001**  
**เรื่อง แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม**

ชื่อ.....สกุล.....ระดับชั้น ..... สาขาวิชา.....กลุ่ม.....

| ลำดับที่ | หัวข้อการประเมิน                                        | ระดับคะแนน |   |   |   |   | หมายเหตุ |
|----------|---------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|----------|
|          |                                                         | 5          | 4 | 3 | 2 | 1 |          |
| 1        | ด้านคุณธรรม จริยธรรม<br>เข้าเรียนตรงต่อเวลา             |            |   |   |   |   |          |
| 2        | มีวินัย และแต่งกายถูกระเบียบ                            |            |   |   |   |   |          |
| 3        | มีความมุ่งมั่น และตั้งใจปฏิบัติงาน                      |            |   |   |   |   |          |
| 4        | มีการทำงานร่วมกับผู้อื่น หรือเป็นทีม                    |            |   |   |   |   |          |
| 5        | ส่งงานในเวลาที่กำหนด                                    |            |   |   |   |   |          |
| 6        | ด้านทักษะการปฏิบัติงาน<br>การปฏิบัติงานเป็นไปตามขั้นตอน |            |   |   |   |   |          |
| 7        | แบบงานมีความประณีต และสวยงาม                            |            |   |   |   |   |          |
| 8        | แบบงานถูกต้องตามหลักวิชาการ                             |            |   |   |   |   |          |
| 9        | ปฏิบัติงานเสร็จสิ้นตามเวลาที่กำหนด                      |            |   |   |   |   |          |
| 10       | มีสุขภาพดีของความปลอดภัย                                |            |   |   |   |   |          |
|          | <b>รวมคะแนน</b>                                         |            |   |   |   |   |          |

สรุปผลการประเมิน ผ่าน ไม่ผ่าน คะแนนที่ได้.....

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน  
 (.....)  
 ...../...../.....

**แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล**  
**หน่วยที่ 1 เรื่อง แรงที่กระทำกับวัตถุที่จม**

**คำชี้แจง** ให้ทำเครื่องหมาย ✓ และหากผู้เรียนมีพฤติกรรมนั้น ลงในช่องรายการ

| ที่ | ชื่อ-<br>นามสกุล | การสังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนในระหว่างเรียน |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   | รวม<br>คะแนน |                           |   |   |   |
|-----|------------------|--------------------------------------------|---|---|---|------------------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|------------------------|---|---|---|--------------|---------------------------|---|---|---|
|     |                  | การสนใจเรียน                               |   |   |   | การแสดง<br>ความคิดเห็น |   |   |   | การตอบ<br>คำถาม |   |   |   | การยอมรับฟัง<br>คนอื่น |   |   |   |              | ทำงานตามที่<br>ครูมอบหมาย |   |   |   |
|     |                  | 4                                          | 3 | 2 | 1 | 4                      | 3 | 2 | 1 | 4               | 3 | 2 | 1 | 4                      | 3 | 2 | 1 |              | 4                         | 3 | 2 | 1 |
| 1   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 2   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 3   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 4   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 5   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 6   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 7   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 8   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 9   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 10  |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |

**เกณฑ์การวัดผล** ให้คะแนนระดับคุณภาพของแต่ละพฤติกรรมดังนี้

1. ดีมาก = 4 สนใจฟัง ไม่หลับ ไม่พูดคุยในชั้น มีคำถาม ตอบคำถามถูก ทำงานส่งตามเวลาอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 90 - 100%
2. ดี = 3 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 70 - 89%
3. ปานกลาง = 2 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 50 - 69 %
4. ปรับปรุง = 1 เข้าชั้นเรียน แต่การแสดงออกน้อยมาก ส่งงานไม่ครบ ส่งงานไม่ตรงเวลา

**เกณฑ์การประเมิน**

คะแนนรวมตามแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

ลงชื่อ .....ครูผู้สอนสังเกต  
(.....)

**วิทยาลัยการอาชีพบางสะพาน**  
**แบบประเมินด้านคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์**

สาขาวิชา.....สาขางาน.....ระดับชั้น.....กลุ่ม.....

| ลำดับ<br>ที่ | ชื่อ-สกุล | รายการประเมิน    |               |           |             |         |           |         |           |       |            | คะแนนรวม | คะแนนเฉลี่ย |
|--------------|-----------|------------------|---------------|-----------|-------------|---------|-----------|---------|-----------|-------|------------|----------|-------------|
|              |           | ยึดมั่นในสถาบันฯ | ละเว้นอบายมุข | ความเมตตา | ความสามัคคี | จิตอาสา | ซื่อสัตย์ | ประหยัด | ซื่อสัตย์ | สุภาพ | ตรงต่อเวลา |          |             |
| 1            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 2            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 3            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 4            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 5            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 6            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 7            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 8            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 9            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 10           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 11           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 12           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 13           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 14           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 15           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 16           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 17           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 18           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 19           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 20           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |

หมายเหตุ

- เกณฑ์การประเมินคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์

- 3 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนแสดงประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอและเป็นผู้ทำได้  
 2 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอ  
 1 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติไม่สม่ำเสมอ  
 0 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนไม่ประพฤติปฏิบัติ

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | แผนการจัดการเรียนรู้                                      | หน่วยที่ ... 5               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 10               |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ แรงพยางและแรงลอยตัว                  | ทฤษฎี 3 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง/งาน แรงพยางและแรงลอยตัว                                                |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

- 3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับแรงพยางของของเหลว
- 3.2. คำนวณแรงลอยตัวของของเหลว

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายความหมายของแรงลอยตัวได้ถูกต้อง
- 4.2. อธิบายการทรงตัวของวัตถุลอยได้ถูกต้อง
- 4.3. อธิบายความหมายของ Metacenter ได้ถูกต้อง
- 4.4. คำนวณหาแรงลอยตัวได้ถูกต้อง
- 4.5. คำนวณหาแรงคู่ควบ และ Metacentric Height ได้ถูกต้อง

### 5. สารการเรียนรู้

- 5.1 แรงลอยตัว
- 5.2 การทรงตัวของวัตถุลอย
- 5.3 ลักษณะการทรงตัวของวัตถุลอย
- 5.4 การหาระยะความสูง

### 6. กิจกรรมการเรียนรู้

#### 6.1 การนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายจุดประสงค์การเรียนรู้ สารการเรียนรู้ให้นักเรียนฟัง
2. ครูอธิบายความเป็นมาของการเกิดแรงพยางและแรงลอยตัวให้นักเรียนฟัง

#### 6.2 การเรียนรู้

- 6.2.1 หนังสือเรียน วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ของสำนักพิมพ์เอ็มแพนซ์
- 6.2.2 สื่ออิเล็กทรอนิกส์ และ Power Point
- 6.2.3 กิจกรรมการเรียนการสอน
- 6.2.4 รูปภาพประกอบ
- 6.2.5 แบบหุ่นจำลอง

#### 6.3 การสรุป

- 6.3.1 สรุปบทเรียนส่วนที่เป็นสาระสำคัญ

#### 6.4 การวัดและประเมินผล

- 6.4.1. สังเกตพฤติกรรมรายบุคคล

6.4.2. กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้

6.4.3. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้

6.4.4. แบบประเมินผลการปฏิบัติงานและแบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม

## 7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

7.1. Power Point เรื่อง แรงพุงและแรงลอยตัว

## 8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1 หลักฐานความรู้

1. เอกสารรับรองจากการทดสอบความรู้

8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน

1. แบบบันทึกความคิดเห็นของครูผู้สอน

2. แบบรับรองการปฏิบัติงานจากสถานประกอบการ

3. แบบบันทึกรายการจากการสังเกตจากการปฏิบัติงาน

## 9. การวัดและประเมินผล

9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน

1. วางแผนและเตรียมความพร้อมในการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง แรงพุงและแรงลอยตัว

2. สรุปผลการวางแผนช่องทางการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง แรงพุงและแรงลอยตัว

9.2 วิธีการประเมิน

1. พิจารณาหลักฐานความรู้

2. พิจารณาหลักฐานการปฏิบัติงาน

9.3 เครื่องมือประเมิน

1. แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ใบความรู้ที่ 1

3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

## 10. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

### 10.1 ข้อสรุปหลังการจัดการเรียนรู้

---

---

---

### 10.2 ปัญหาที่พบ

---

---

---

### 10.3 แนวทางแก้ปัญหา

---

---

---



|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบความรู้ ที่ 1                                           | หน่วยที่ ... 5               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 10               |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ แรงพุงและแรงลอยตัว                   | ทฤษฎี 3 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง แรงพุงและแรงลอยตัว                                                     |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับแรงพุงของของเหลว

3.2. คำนวณแรงลอยตัวของของเหลว

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายความหมายของแรงลอยตัวได้ถูกต้อง

4.2. อธิบายการทรงตัวของวัตถุลอยได้ถูกต้อง

4.3. อธิบายความหมายของ Metacenter ได้ถูกต้อง

4.4. คำนวณหาแรงลอยตัวได้ถูกต้อง

4.5. คำนวณหาแรงคู่ควบ และ Metacentric Height ได้ถูกต้อง

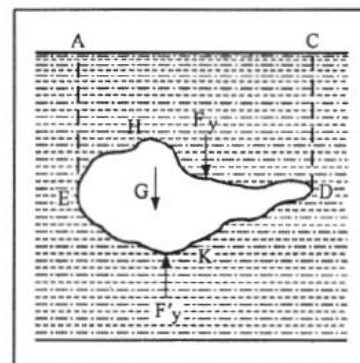
### 5. เนื้อหาสาระ

#### แรงลอยตัว (Buoyancy Force)

พิจารณาวัตถุ EHDK จมอยู่ในของไหล จะมีแรงโน้มถ่วงและความดันของของไหลกระทำอยู่รอบด้าน แรงที่กระทำกับวัตถุต้นบนในแนวตั้ง ได้แก่ แรง  $F_y$  มีค่าเท่ากับน้ำหนักของของไหลปริมาตร AEHDC ในลักษณะเดียวกัน แรงที่กระทำกับวัตถุด้านล่างในแนวตั้ง ได้แก่ แรง  $F'_y$  มีค่าเท่ากับน้ำหนักของของไหลปริมาตร AEHDC ผลต่างของปริมาตรทั้งสองคือ ปริมาตร AEKDC

ปริมาตร AEHDC มีค่าเท่ากับปริมาตร EHDK ดังนั้นแรงลอยตัวของของเหลว ใช้แทนด้วย  $F_B$  มีค่าเท่ากับ  $F'_y - F_y$  และค่าของ  $F'_y - F_y$  มีค่าเท่ากับน้ำหนักของของไหลปริมาตร EHDK

นั่นคือ แรงลอยตัวที่กระทำกับวัตถุใด ๆ มีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่โดยวัตถุนั้น และจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของวัตถุทั้งก้อน



1. แรง  $G$  เท่ากับ  $F_B$  วัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพสมดุลและจมอยู่ในของของไหล ความหนาแน่นของวัตถุเท่ากับความหนาแน่นของของไหล

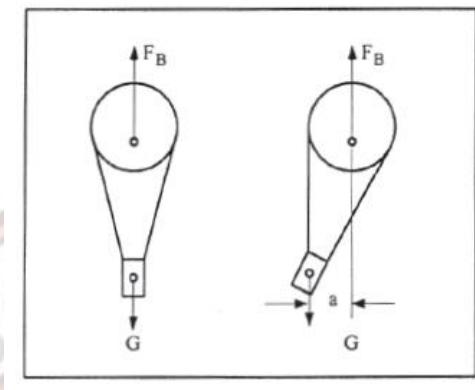
2. แรง  $G$  มากกว่าแรง  $F_B$  วัตถุนั้นจะถูกทำให้จม

3. แรง  $G$  น้อยกว่า  $F_B$  วัตถุนั้นจะลอยขึ้น จนความหนาแน่นของวัตถุเท่ากับความหนาแน่นของของไหล

4. จุดศูนย์กลางของการลอย คือ จุดที่แรงพุงกระทำอยู่ที่จุดศูนย์กลางของความถ่วงของของเหลวส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุ

### การทรงตัวของวัตถุลอย (Stability of Floating Body)

การทรงตัวของวัตถุจะมีการทรงตัวอยู่ได้ โดยปรับให้มีความสมดุลของการทรงตัว เมื่อจุดศูนย์กลางของการลอยตัวอยู่บนจุดศูนย์กลางความถ่วงของวัตถุ



เมื่อ  $F_B = G$  โดยจุดศูนย์กลางความถ่วงของวัตถุ และจุดศูนย์กลางของการลอยตัวอยู่ในแนวเดียวกัน การทรงตัวสมดุล

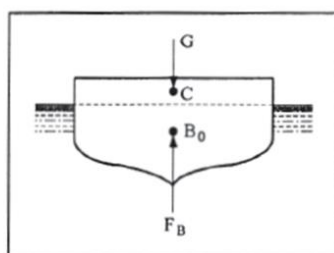
ถ้าจุดศูนย์กลางของการลอยตัวเปลี่ยนตำแหน่งทำให้เกิดระยะ  $a$  มีการเอียงของวัตถุและเกิดโมเมนต์แรงคู่ควบของน้ำหนัก  $G$  เท่ากับ  $Ga$  ในกรณีของเรือดำน้ำในทะเลก็เช่นกัน ถ้าจุดศูนย์กลางความถ่วงของวัตถุและจุดศูนย์กลางของการลอยตัวอยู่ในแนวเส้นตรงอันเดียวกัน เรือก็จะสมดุลอยู่ในแนวระดับ แต่ถ้าจุดศูนย์กลางของการลอยตัวเปลี่ยนตำแหน่งเป็นระยะ  $a$  ก็จะทำให้เรือเอียงด้วย แรงคู่ควบ  $Ga$  จะได้  $F_B = G$  และโมเมนต์แรงคู่ควบ  $= Ga$

### ลักษณะการทรงตัวของวัตถุลอย

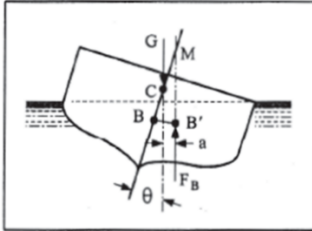
1. การทรงตัวของวัตถุลอย ในของไหลที่มีบางส่วนพื้นผิวของของไหล เมื่อวัตถุสมดุล

$$F_B = G$$

โดยจุด  $C$  และ  $B_0$  อยู่ในแนวเดียวกัน ไม่เกิดโมเมนต์หรือแรงคู่ควบ



จากรูป เมื่อวัตถุมีแรงกระทำให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งจาก B เป็น B' ทำให้เกิดการเอียงเป็นมุม  $\theta$  กับแนวเดิม CB เป็นระยะ  $a$  และให้  $a = CM \sin \theta$ ลากเส้นตรงตามแนวตั้งจากจุด B' ไปตัดกับแนวเดิม CB ที่จุดตัด M ที่จุด M เรียกว่าจุด Metacenter เป็นจุดบอกลักษณะการสมดุลของการทรงตัวของวัตถุที่ลอยอยู่ในของไหล



ถ้ามุม  $\theta$  มีค่าน้อยมากจุด M จะมีค่าคงที่  
ระยะห่างระหว่างจุด M กับจุด C เรียกว่า Metacentric Height  
ถ้าจุด M สูงกว่าจุด C วัตถุจะทรงตัวได้ดี หรือกลับอยู่ตำแหน่งเดิม  
ถ้าจุด M ต่ำกว่าจุด C วัตถุจะไม่กลับตำแหน่งเดิม

## 2. การทรงตัวของวัตถุลอยในของไหล มีสภาพทรงตัวได้ดี

จากรูป เมื่อวัตถุจุด M อยู่สูงกว่าจุด C ทำให้เกิดระยะ BM มากกว่าระยะ BC ทำให้วัตถุนั้นมีการทรงตัวได้ดีไม่เกิดการพลิกคว่ำ เพราะเมื่อเกิดการกระทำจากแรงก็เกิดระยะการเปลี่ยนแปลงของจุด B เป็น B' เป็นระยะ  $CM \sin \theta$  จากระยะ  $CM \sin \theta$  เมื่อนำไปคูณกับน้ำหนักของวัตถุก็จะได้โมเมนต์ของแรงคู่ควบ คือ

$$\text{โมเมนต์ของแรงคู่ควบ} = G CM \sin \theta$$

จากหลักการนี้จึงนำไปใช้ในการออกแบบเรือ โป๊ะ และแท่นขุดเจาะน้ำมันในทะเล เป็นต้น

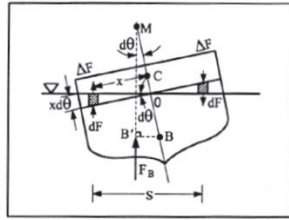
## 3. การทรงตัวของวัตถุลอยในของไหล มีสภาพทรงตัวไม่ได้

ถ้าให้วัตถุมีจุด M ต่ำกว่าจุด C ทำให้เกิดระยะ BM น้อยกว่าระยะ BC และมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของจุด B เป็น B' จะได้ระยะ  $CM \sin \theta$  เมื่อนำระยะ  $CM \sin \theta$  คูณกับน้ำหนักของวัตถุนั้นก็จะได้โมเมนต์ของแรงคู่ควบ แรงคู่ควบที่เกิดขึ้นจะทำให้วัตถุนั้นเสียการทรงตัว ทำให้เกิดการพลิกคว่ำได้ ซึ่งเรียกว่า วัตถุอยู่ในสภาพทรงตัวไม่ได้ ในกรณีที่มีมุม  $\theta$  เพิ่มขึ้น แต่ถ้าระยะ BM เท่ากับระยะ BC วัตถุจะอยู่ในสภาพทรงตัวเป็นกลาง เช่น ฟันทรงกลมที่ลอยอยู่ในน้ำ เนื่องจากจุด M และจุด C เป็นจุดเดียวกัน

## การหาระยะความสูง (Metacentric Height)

การหาระยะความสูง มีข้อกำหนดเบื้องต้นในการหาความสูง ดังนี้

|              |   |                                                                            |
|--------------|---|----------------------------------------------------------------------------|
| มุม $\theta$ | = | มุมเอียงของเรือมีค่าน้อยมากในครั้งแรก                                      |
| ค่า $y$      | = | ระยะของจุด B ถึง B'                                                        |
| $\Delta F$   | = | เป็นแรงพยุงที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากส่วนที่จมเป็นรูปสี่เหลี่ยมเท่ากันสองข้าง |
| $dA$         | = | ชิ้นส่วนเล็กๆ ที่นำมาคิด                                                   |



จากรูป จะได้ว่า

โมเมนต์แรงคู่ควบ  $\Delta F \cdot s =$  โมเมนต์แรงพยางค์จุด  $B'$

จะได้สมการ

$$\Delta F \cdot s = G \cdot x \cdot \gamma$$

หาค่าแรง  $\Delta F$  จากสมการ

$$\Delta F = \gamma (\Delta V)$$

เมื่อให้

$$\Delta V = h \cdot dA$$

เพราะว่า

$$h = x \cdot \theta$$

เพราะฉะนั้น

$$\Delta F = \gamma x \theta dA$$

หาค่าโมเมนต์ของแรง  $F$  รอบจุด  $O$  จะได้

$$\begin{aligned} \Delta F \cdot s &= \int_A (\Delta F) (x) \\ &= \int_A \gamma \theta x^2 dA \end{aligned}$$

เมื่อให้  $A$  คือ พื้นที่ในแนวระดับที่ผิวหน้า

โดย

$$\int_A x^2 dA = I_y$$

เพราะฉะนั้น

$$\Delta F \cdot s = \gamma \theta I_y$$

เมื่อ  $I_y$  เป็นโมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน  $Y$  และแทนค่า จาก 5.4 ในสมการ 5.3 จะได้

$$\gamma \theta I_y = G \gamma$$

เมื่อ

$$G = \gamma V$$

$V =$  ปริมาตรส่วนที่จม

$$\gamma \theta I_y = \gamma V \gamma$$

โดย

$$\gamma = \frac{\theta I_y}{V}$$

การหาค่า MC หาได้จาก  $\Delta MB B'$

เมื่อ

$$\gamma = MB \sin \theta \approx (MB) (\theta)$$

เพราะฉะนั้น

$$\frac{\gamma}{\theta} = MB$$

แทนค่า

$$\gamma = (MB) (\theta) \text{ ในสมการ 5.6}$$

จะได้

$$(MB) (\theta) = \frac{\theta I_y}{V}$$

$$MB = \frac{I_y}{V}$$

โดย

$$MC = MB \pm CB$$

หรือ

$$MC = \frac{I_y}{V} \pm CB$$

การหาโมเมนต์คู่ควบ หาได้จาก

$$C = (G) (MC \sin \theta)$$

โดย C = โมเมนต์แรงคู่ควบ

ใช้ในการวิเคราะห์การทรงตัวของวัตถุที่อยู่ในลักษณะทรงตัวถาวรและไม่ถาวร

## 6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

### แบบฝึกหัดที่ 5 แรงพยุงและแรงลอยตัว

1. แรงลอยตัวที่กระทำกับวัตถุ คืออะไร

.....

.....

.....

2. ถ้าแรง  $G$  เท่ากับแรงลอยตัว ( $F_B$ ) วัตถุนั้นจะอยู่ในลักษณะอย่างไร

.....

.....

.....

3. จุดศูนย์กลางของการลอยตัว คืออะไร

.....

.....

.....

4. การทรงตัวสมดุล หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

5. จุด Metacenter คืออะไร

.....

.....

.....

6. ถ้าแรง  $G$  มากกว่าแรงลอยตัว ( $F_B$ ) วัตถุนั้นจะอยู่ในลักษณะอย่างไร

.....

.....

.....

7. ถ้าแรง  $G$  น้อยกว่าแรงลอยตัว ( $F_B$ ) วัตถุนั้นจะอยู่ในลักษณะอย่างไร

.....

.....

.....

8. จุดศูนย์กลางของการลอยตัวเปลี่ยนตำแหน่งทำให้เกิดอะไรขึ้น

.....

.....

.....

9. แรงคู่ควบที่เกิดขึ้นจะทำให้วัตถุนั้นเปลี่ยนเป็นอย่างไร

.....

.....

.....

10. วัตถุจะมีการทรงตัวอยู่ได้หรือปรับตัวให้มีความสมดุลของการทรงตัวได้ เมื่ออยู่ในสภาพใด

.....

.....

.....



## 7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

## 8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

### เฉลย แบบฝึกหัดที่ 5 แรงพยุงและแรงลอยตัว

#### 1. แรงลอยตัวที่กระทำกับวัตถุ คืออะไร

แรงลอยตัวที่กระทำกับวัตถุ คือ แรงที่ของเหลวกระทำกับวัตถุที่จมอยู่ในของเหลวนั้น มีทิศตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงของโลก

#### 2. ถ้าแรง $G$ เท่ากับแรงลอยตัว ( $F_B$ ) วัตถุนั้นจะอยู่ในลักษณะอย่างไร

ถ้าแรง  $G$  เท่ากับแรงลอยตัว ( $F_B$ ) วัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพสมดุลและจมอยู่ในของของไหล ความหนาแน่นของวัตถุเท่ากับ ความหนาแน่นของของไหล

#### 3. จุดศูนย์กลางของการลอยตัว คืออะไร

จุดศูนย์กลางของการลอยตัว คือ จุดที่แรงพยุงกระทำอยู่ที่จุดศูนย์กลางของความถ่วงของของเหลวส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุ

#### 4. การทรงตัวสมดุล หมายถึงอะไร

การทรงตัวสมดุล หมายถึง การทรงตัวของวัตถุจะมีการทรงตัวอยู่ได้ โดยปรับให้มีความสมดุลของการทรงตัว เมื่อจุดศูนย์กลางของการลอยตัวอยู่บนจุดศูนย์กลางความถ่วงของวัตถุ

#### 5. จุด Metacenter คืออะไร

จุด Metacenter คือ จุดบอกลักษณะการสมดุลของการทรงตัวของวัตถุที่ลอยอยู่ในของไหล

#### 6. ถ้าแรง $G$ มากกว่าแรงลอยตัว ( $F_B$ ) วัตถุนั้นจะอยู่ในลักษณะอย่างไร

ถ้าแรง  $G$  มากกว่าแรงลอยตัว ( $F_B$ ) วัตถุนั้นจะอยู่ในลักษณะถูกทำให้จม

#### 7. ถ้าแรง $G$ น้อยกว่าแรงลอยตัว ( $F_B$ ) วัตถุนั้นจะอยู่ในลักษณะอย่างไร

ถ้าแรง  $G$  น้อยกว่าแรงลอยตัว ( $F_B$ ) วัตถุนั้นจะอยู่ในลักษณะลอยขึ้น จนความหนาแน่นของวัตถุเท่ากับ ความหนาแน่นของของไหล

#### 8. จุดศูนย์กลางของการลอยตัวเปลี่ยนตำแหน่งทำให้เกิดอะไรขึ้น

จุดศูนย์กลางของการลอยตัวเปลี่ยนตำแหน่งทำให้เกิดระยะ  $a$  มีการเอียงของวัตถุและเกิดโมเมนต์แรงควบคู่ของน้ำหนัก  $G$  เท่ากับ  $G_a$

#### 9. แรงคู่ควบที่เกิดขึ้นจะทำให้วัตถุนั้นเปลี่ยนเป็นอย่างไร

แรงคู่ควบที่เกิดขึ้นจะทำให้วัตถุนั้นเปลี่ยนเป็นเอียงและเกิดโมเมนต์แรงควบคู่ของน้ำหนัก

#### 10. วัตถุจะมีการทรงตัวอยู่ได้หรือปรับตัวให้มีความสมดุลของการทรงตัวได้ เมื่ออยู่ในสภาพใด

วัตถุจะมีการทรงตัวอยู่ได้หรือปรับตัวให้มีความสมดุลของการทรงตัวได้ เมื่ออยู่ในสภาพจุดศูนย์กลางของการลอยตัวอยู่บนจุดศูนย์กลางความถ่วงของวัตถุ

|                                                                                   |                                                          |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบงาน ที่ 5                                              | หน่วยที่ ... 5               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 10               |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ แรงพยางและแรงลอยตัว                 | ทฤษฎี 3 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง แรงพยางและแรงลอยตัว                                                    |                                                          |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับแรงพยางของของเหลว

3.2. คำนวณแรงลอยตัวของของเหลว

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายความหมายของแรงลอยตัวได้ถูกต้อง

4.2. อธิบายการทรงตัวของวัตถุลอยได้ถูกต้อง

4.3. อธิบายความหมายของ Metacenter ได้ถูกต้อง

4.4. คำนวณหาแรงลอยตัวได้ถูกต้อง

4.5. คำนวณหาแรงคู่ควบ และ Metacentric Height ได้ถูกต้อง

### 5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

1. แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ใบความรู้ที่ 1

3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

### 6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

ไม่มี

### 7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ชั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายจุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ให้นักเรียนฟัง

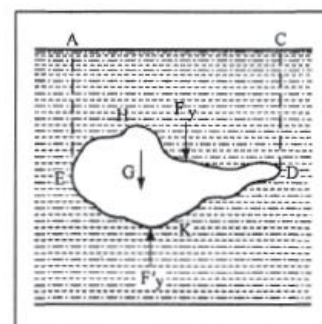
2. ครูอธิบายความเป็นมาของการเกิดแรงพยางและแรงลอยตัวให้นักเรียนฟัง

ชั้นสอน

1. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับแรงลอยตัว

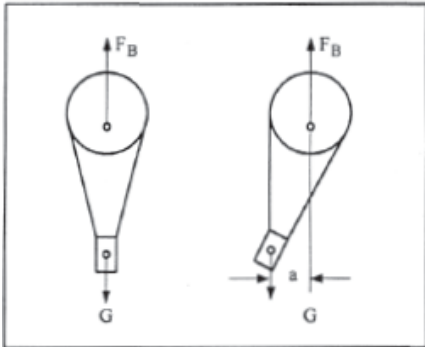
พิจารณาวัตถุ EHDK จมอยู่ในของไหล ดังรูป จะมีแรงโน้มถ่วงและ

ความดันของของไหลกระทำอยู่รอบด้าน แรงที่กระทำกับวัตถุด้านบนในแนวตั้งได้แก่ แรง มีค่าเท่ากับน้ำหนักของไหลปริมาตร AEHDC ผลต่างของปริมาตรทั้งสองคือ ปริมาตร AEKDC



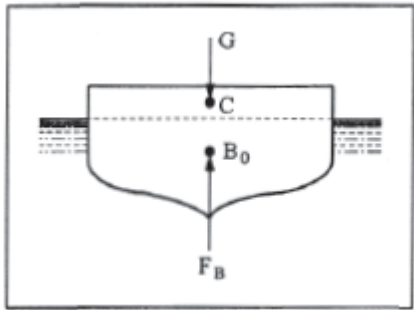
2. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการทรงตัวของวัตถุลอย

การทรงตัวของวัตถุจะมีการทรงตัวอยู่ได้ โดยปรับให้มีความสมดุลของการทรงตัว เมื่อจุดศูนย์กลางของการลอยตัวอยู่บนจุดศูนย์กลางความถ่วงของวัตถุ ดังรูป

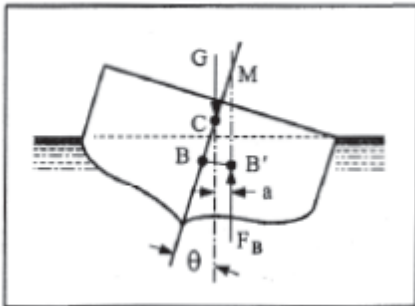


3. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับลักษณะการทรงตัวของวัตถุลอย

ในของไหลที่มีบางส่วนพื้นผิวของของไหล เมื่อวัตถุสมดุล ดังรูป



ดังนั้นเมื่อวัตถุมีแรงกระทำให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งจาก B เป็น B' ทำให้เกิดการเอียงเป็นมุม  $\theta$  กับแนวเดิม CB เป็นระยะ a ดังรูป



4. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการหาระยะความสูง

การหาระยะความสูง มีข้อกำหนดเบื้องต้นในการหาความสูง ดังนี้

|              |   |                                                                    |
|--------------|---|--------------------------------------------------------------------|
| มุม $\theta$ | = | มุมเอียงของเรือมีค่าน้อยมากในครั้งแรก                              |
| ค่า $\gamma$ | = | ระยะของจุด B ถึง B'                                                |
| $\Delta F$   | = | เป็นแรงพยุงที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากส่วนที่จมเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า |
| dA           | = | ชิ้นส่วนเล็ก ๆ ที่นำมาคิด                                          |



**แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 1**  
**รายวิชา รายวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล รหัสวิชา 30101-2001**  
**เรื่อง แรงพยางและแรงลอยตัว**

ชื่อ.....สกุล.....ระดับชั้น ..... สาขาวิชา.....กลุ่ม.....

| ลำดับที่ | หัวข้อการประเมิน                                        | ระดับคะแนน |   |   |   |   | หมายเหตุ |
|----------|---------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|----------|
|          |                                                         | 5          | 4 | 3 | 2 | 1 |          |
| 1        | ด้านคุณธรรม จริยธรรม<br>เข้าเรียนตรงต่อเวลา             |            |   |   |   |   |          |
| 2        | มีวินัย และแต่งกายถูกระเบียบ                            |            |   |   |   |   |          |
| 3        | มีความมุ่งมั่น และตั้งใจปฏิบัติงาน                      |            |   |   |   |   |          |
| 4        | มีการทำงานร่วมกับผู้อื่น หรือเป็นทีม                    |            |   |   |   |   |          |
| 5        | ส่งงานในเวลาที่กำหนด                                    |            |   |   |   |   |          |
| 6        | ด้านทักษะการปฏิบัติงาน<br>การปฏิบัติงานเป็นไปตามขั้นตอน |            |   |   |   |   |          |
| 7        | แบบงานมีความประณีต และสวยงาม                            |            |   |   |   |   |          |
| 8        | แบบงานถูกต้องตามหลักวิชาการ                             |            |   |   |   |   |          |
| 9        | ปฏิบัติงานเสร็จสิ้นตามเวลาที่กำหนด                      |            |   |   |   |   |          |
| 10       | มีสุขภาพดีของความปลอดภัย                                |            |   |   |   |   |          |
|          | รวมคะแนน                                                |            |   |   |   |   |          |

สรุปผลการประเมิน ผ่าน ไม่ผ่าน คะแนนที่ได้.....

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน  
 (.....)  
 ...../...../.....

**แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล**  
**หน่วยที่ 1 เรื่อง แรงพยุ่งและแรงลอยตัว**

**คำชี้แจง** ให้ทำเครื่องหมาย ✓ และหากผู้เรียนมีพฤติกรรมนั้น ลงในช่องรายการ

| ที่ | ชื่อ-นามสกุล | การแสดงพฤติกรรมของผู้เรียนในระหว่างเรียน |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   | รวมคะแนน |                       |   |   |   |
|-----|--------------|------------------------------------------|---|---|---|--------------------|---|---|---|-------------|---|---|---|--------------------|---|---|---|----------|-----------------------|---|---|---|
|     |              | การสนใจเรียน                             |   |   |   | การแสดงความคิดเห็น |   |   |   | การตอบคำถาม |   |   |   | การยอมรับฟังคนอื่น |   |   |   |          | ทำงานตามที่ครูมอบหมาย |   |   |   |
|     |              | 4                                        | 3 | 2 | 1 | 4                  | 3 | 2 | 1 | 4           | 3 | 2 | 1 | 4                  | 3 | 2 | 1 |          | 4                     | 3 | 2 | 1 |
| 1   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 2   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 3   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 4   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 5   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 6   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 7   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 8   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 9   |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |
| 10  |              |                                          |   |   |   |                    |   |   |   |             |   |   |   |                    |   |   |   |          |                       |   |   |   |

**เกณฑ์การวัดผล** ให้คะแนนระดับคุณภาพของแต่ละพฤติกรรมดังนี้

1. ดีมาก = 4 สนใจฟัง ไม่หลับ ไม่พูดคุยในชั้น มีคำถาม ตอบคำถามถูก ทำงานส่งตามเวลาอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 90 - 100%
2. ดี = 3 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 70 - 89%
3. ปานกลาง = 2 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 50 - 69 %
4. ปรับปรุง = 1 เข้าชั้นเรียน แต่การแสดงออกน้อยมาก ส่งงานไม่ครบ ส่งงานไม่ตรงเวลา

**เกณฑ์การประเมิน**

คะแนนรวมตามแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

ลงชื่อ .....ครูผู้สอนสังเกต  
(.....)

**วิทยาลัยการอาชีพบางสะพาน**  
**แบบประเมินด้านคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์**

สาขาวิชา.....สาขางาน.....ระดับชั้น.....กลุ่ม.....

| ลำดับ<br>ที่ | ชื่อ-สกุล | รายการประเมิน    |               |           |             |         |           |         |           |       |            | คะแนนรวม | คะแนนเฉลี่ย |
|--------------|-----------|------------------|---------------|-----------|-------------|---------|-----------|---------|-----------|-------|------------|----------|-------------|
|              |           | ยึดมั่นในสถาบันฯ | ละเว้นอบายมุข | ความเมตตา | ความสามัคคี | จิตอาสา | ซื่อสัตย์ | ประหยัด | ซื่อสัตย์ | สุภาพ | ตรงต่อเวลา |          |             |
| 1            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 2            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 3            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 4            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 5            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 6            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 7            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 8            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 9            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 10           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 11           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 12           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 13           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 14           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 15           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 16           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 17           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 18           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 19           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 20           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |

หมายเหตุ

- เกณฑ์การประเมินคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์

- 3 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนแสดงประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอและเป็นผู้ทำได้  
 2 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอ  
 1 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติไม่สม่ำเสมอ  
 0 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนไม่ประพฤติปฏิบัติ

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | แผนการจัดการเรียนรู้                                      | หน่วยที่ ... 6               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 11               |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ สมการโมเมนตัมและพลังงาน              | ทฤษฎี 3 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง/งาน สมการโมเมนตัมและพลังงาน                                            |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับสมการของการไหล

3.2. คำนวณพลังงานของของไหล

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายกฎของพอยเซลเล่ได้ถูกต้อง

4.2. อธิบายกฎของสโตกส์ได้ถูกต้อง

4.3. อธิบายการไหลได้ถูกต้อง

4.4. อธิบายโมเมนตัมได้ถูกต้อง

4.5. อธิบายพลังงานรูปต่างๆ ได้ถูกต้อง

4.6. คำนวณหาโมเมนตัม การไหล และพลังงานรูปต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง

### 5. สารการเรียนรู้

5.1. กฎของพอยเซลเล่

5.2. กฎของสโตกส์

5.3. การไหลและโมเมนตัม

5.4. แรงดันต่อความดัน

5.5. พลังงาน

### 6. กิจกรรมการเรียนรู้

#### 6.1 การนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายจุดประสงค์การเรียนรู้ สารการเรียนรู้ให้นักเรียนฟัง

2. ครูอธิบายความเป็นมาของสมการโมเมนตัมและพลังงานให้นักเรียนฟัง

#### 6.2 การเรียนรู้

6.2.1 หนังสือเรียน วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ของสำนักพิมพ์เอ็มพันธ์

6.2.2 สื่ออิเล็กทรอนิกส์ และ Power Point

6.2.3 กิจกรรมการเรียนการสอน

6.2.4 รูปภาพประกอบ

6.2.5 แบบหุ่นจำลอง

#### 6.3 การสรุป

6.3.1 สรุปบทเรียนส่วนที่เป็นสาระสำคัญ

#### 6.4 การวัดและประเมินผล

- 6.4.1. สังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
- 6.4.2. กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้
- 6.4.3. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้
- 6.4.4. แบบประเมินผลการปฏิบัติงานและแบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม

#### 7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

- 7.1. Power Point เรื่อง สมการโมเมนตัมและพลังงาน

#### 8. หลักฐานการเรียนรู้

##### 8.1 หลักฐานความรู้

- 1. เอกสารรับรองจากการทดสอบความรู้

##### 8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน

- 1. แบบบันทึกความคิดเห็นของครูผู้สอน
- 2. แบบรับรองการปฏิบัติงานจากสถานประกอบการ
- 3. แบบบันทึกรายการจากการสังเกตจากการปฏิบัติงาน

#### 9. การวัดและประเมินผล

##### 9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน

- 1. วางแผนและเตรียมความพร้อมในการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง สมการโมเมนตัมและพลังงาน
- 2. สรุปผลการวางแผนช่องทางในการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง สมการโมเมนตัมและพลังงาน

##### 9.2 วิธีการประเมิน

- 1. พิจารณาหลักฐานความรู้
- 2. พิจารณาหลักฐานการปฏิบัติงาน

##### 9.3 เครื่องมือประเมิน

- 1. แบบทดสอบก่อนเรียน
- 2. ใบความรู้ที่ 1
- 3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

## 10. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

### 10.1 ข้อสรุปหลังการจัดการเรียนรู้

---

---

---

### 10.2 ปัญหาที่พบ

---

---

---

### 10.3 แนวทางแก้ปัญหา

---

---

---



|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบความรู้ ที่ 1                                           | หน่วยที่ ... 6               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 11               |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ สมการโมเมนตัมและพลังงาน              | ทฤษฎี 3 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง สมการโมเมนตัมและพลังงาน                                                |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับสมการของการไหล

3.2. คำนวณพลังงานของของไหล

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายกฎของพอยเซลเล่ได้ถูกต้อง

4.2. อธิบายกฎของสโตกส์ได้ถูกต้อง

4.3. อธิบายการตลได้ถูกต้อง

4.4. อธิบายโมเมนตัมได้ถูกต้อง

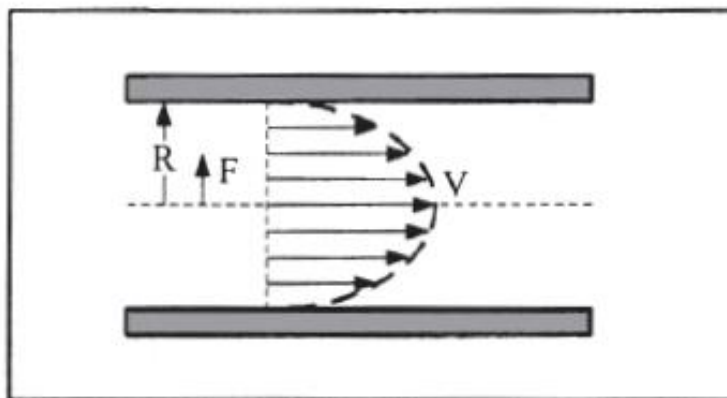
4.5. อธิบายพลังงานรูปต่างๆ ได้ถูกต้อง

4.6. คำนวณหาโมเมนตัม การตล และพลังงานรูปต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง

### 5. เนื้อหาสาระ

#### กฎของพอยเซลเล่ (Poiseuille's Law)

กฎของพอยเซลเล่ คือ ผลของความหนืดของของไหลที่ไหลผ่านท่อ โดยความเร็วของของไหลในท่อเดียวกันมีความเร็วไม่เท่ากัน ที่จุดศูนย์กลางของท่อมีความเร็วสูงสุดและมีค่าความเร็วเป็นศูนย์ที่บริเวณผนังท่อ



#### กฎของสโตกส์ (Stokes' Law)

กฎของสโตกส์ คือ แรงต้านทานเนื่องจากการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมในของไหล ขึ้นอยู่กับความหนืด สมบูรณ์ของของไหล รัศมีของวัตถุทรงกลม และความเร็วของวัตถุทรงกลมสัมพันธ์กับของไหล จะได้ว่า

$$F = 6\pi\mu rV$$

ถ้าวัตถุทรงกลมถูกปล่อยลงไปในของเหลวที่มีความหนืดและความหนาแน่น  $\rho'$  จนมีความเร็วสุดท้ายเป็น  $V$  จะได้ว่า

น้ำหนักของวัตถุทรงกลม = แรงต้านจากความหนืด + สมดุลของแรงลอยตัว  
 การดล (Impulse) คือ ผลคูณของแรงดลกับช่วงเวลาสั้นๆ ที่แรงกระทำต่อวัตถุ  
 โดย

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของทรงกลม} &= \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g \\ \text{การดล} &= F \times t \\ \text{แรงต้านจากความหนืด} &= 6\pi \mu r V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{สมดุลของแรงลอยตัว} &= \frac{4}{3} \pi r^3 \rho' g \\ \text{โดย} \quad I &= \text{การดล} \end{aligned}$$

ถ้าวัตถุทรงกลมถูกปล่อยลงไปในของเหลวที่มีความหนืดและความหนาแน่น  $\rho'$  จนมีความเร็วสุดท้ายเป็น  $V$  จะได้ว่า

น้ำหนักของวัตถุทรงกลม = แรงต้านจากความหนืด + สมดุลของแรงลอยตัว  
 โดย

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของทรงกลม} &= \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g \\ \text{หน่วยของการดล มีหน่วยเป็น (N.s)} \\ \text{แรงต้านจากความหนืด} &= 6\pi \mu r V \\ \text{โมเมนตัม (Momentum) คือ มวลของวัตถุคูณกับความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่} \\ \text{สมดุลของแรงลอยตัว} &= \frac{4}{3} \pi r^3 \rho' g \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g &= 6\pi \mu r V \\ \text{โมเมนตัม} &= M \times V \end{aligned}$$

โดย

$$\begin{aligned} V &= \frac{2}{9} \left( \frac{gr^2 (\rho - \rho')}{\mu} \right) \\ V &= \text{ความเร็วของวัตถุ} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \end{aligned}$$

การดลและโมเมนตัม (Impulse and Momentum)

หน่วยของโมเมนตัม มีหน่วยเป็น (kg.m/s)

การดลและโมเมนตัม ใช้กฎของนิวตันที่กล่าวว่า อัตราเร่ง (a) ของอนุภาคใดๆ ที่เกิดขึ้นในทิศทางแรงลัพธ์ (F) จะเป็นปฏิภาคตรงกับแรงลัพธ์ แต่จะเป็นปฏิภาคผกผันกับมวล (m) ของอนุภาคนั้น กล่าวคือ

$$F = m.a$$

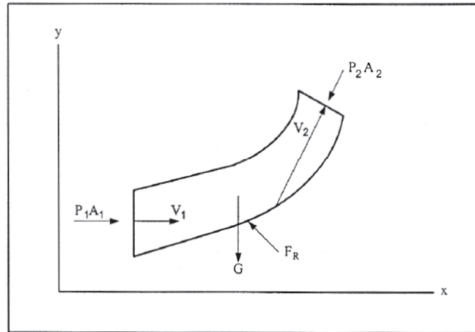
$$F = m \frac{dv}{dt}$$

$$\text{โดย} \quad a = \frac{dv}{dt}$$

ดังนั้น

$$F dt = m dv$$

จากสมการที่ 6.7 สมการด้านซ้ายมือ คือ การดล และสมการด้านขวามือ คือ โมเมนตัม โดยการดลมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนโมเมนตัม วัตถุมีมวลอยู่ในการควบคุมปริมาตร โดยมีตำแหน่งคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่าง



การวิเคราะห์ข้อมูลหาแรงที่เกิดขึ้นจากการไหลของของไหลในท่อโค้ง แรงที่กระทำต่อลำของของไหล คือ

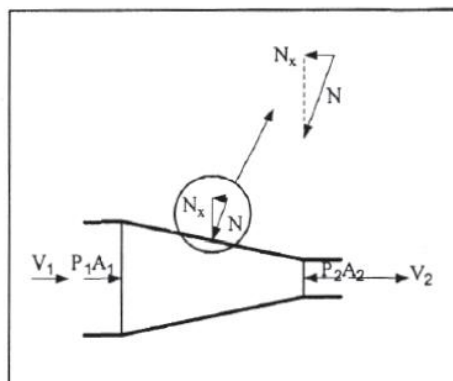
- แรง  $F_1$  เกิดจากความดัน  $P_1 \times A_1$   
ดังนั้น  $F_1 = P_1 A_1$
- แรง  $F_2$  เกิดจากความดัน  $P_2 \times A_2$   
ดังนั้น  $F_2 = P_2 A_2$
- แรง  $G$  เป็นแรงที่เกิดจากน้ำหนักของของไหลในท่อ
- แรง  $F_R$  เป็นแรงปฏิกิริยาที่ผนังของท่อกระทำต่อของไหล โดยแรงที่เกิดจากการไหล

ของของไหลกระทำต่อผนังของท่อ จะมีปริมาณเท่ากับแรง  $F_R$  มีทิศทางตรงข้ามจะได้ผลรวมของแรงในแกน  $x$  และแกน  $y$  ดังนี้

$$\begin{aligned}\sum f_x &= F_{1x} - F_{2x} - F_{Rx} \\ \sum f_y &= F_{1y} - F_{2y} + F_{Ry} - G\end{aligned}$$

### แรงบนท่อความดัน (Force Exerted Upon Pipe)

เมื่อพิจารณาการไหลของของไหลผ่านท่อภายใต้ความดัน จะมีแรงมากระทำกับของไหลทำให้ของไหลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เปลี่ยนไป



แรงที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ คือ  $\sum F_x = \frac{W}{g} (V_2 - V_1)$  พื้นที่หน้าตัดลดลงจะทำให้ความดันเพิ่มขึ้น ถ้าไม่คำนึงถึงแรงโน้มถ่วง แรง  $N_x$  ที่กระทำกับผนังท่อ โดยหาได้จากสมการการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม คือ

$$P_1 A_1 - P_2 A_2 - N_x = \frac{W}{g} (V_2 - V_1)$$

จากสมการที่ 6.17 หา  $N_x$  ได้ดังนี้

$$N_x = P_1 A_1 - P_2 A_2 - \frac{W}{g} (V_2 - V_1)$$

โดย  $N_x$  คือ แรงที่กระทำบนผนังท่อความดันของไหล

### พลังงาน (Energy)

|         |     |                                                             |
|---------|-----|-------------------------------------------------------------|
| พลังงาน | คือ | ความสามารถที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความร้อน งาน และพลังงาน |
| กำลัง   | คือ | งานหรือพลังงานต่อหน่วยเวลา                                  |
| งาน     | คือ | ผลของแรงคูณระยะทาง                                          |

พลังงานที่มีอยู่หลายรูปแบบ เช่น พลังงานศักย์ พลังงานจลน์ พลังงานภายใน พลังงานจากการไหลของของไหลซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไป

**1.พลังงานศักย์ (Potential Energy)** คือ พลังงานที่แฝงอยู่ในมวลของสสารนั้น และความแตกต่างของพลังงานขึ้นอยู่กับ มวลและระดับความสูงภายใต้แรงดึงดูดของโลก

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

โดย

$$E_p = \text{พลังงานศักย์ (N.m หรือ J)}$$

$$m = \text{มวลของวัตถุ ในที่นี้คือมวลของของไหล (kg)}$$

$$g = \text{อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s}^2\text{)}$$

$$h = \text{ความสูงวัดจากระดับอ้างอิงใด ๆ (m)}$$

2. พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) คือ ความสามารถที่ใหวัตถุทำงานได้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของวัตถุ ปริมาณของพลังงานจลน์จะมากน้อยแต่ไหนขึ้นอยู่กับความเร็ว และขนาดของมวลวัตถุนั้น

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

โดย

$$E_k = \text{พลังงานจลน์ (N.m หรือ J)}$$

$$m = \text{มวลของวัตถุ (kg)}$$

$$v = \text{ความเร็วของวัตถุ (m/s)}$$

3. พลังงานภายใน (Internal Energy) คือ เป็นคุณสมบัติประจำตัวของสสาร ถ้าอุณหภูมิของสสารยังไม่ถึงศูนย์สัมบูรณ์ สสารนั้นจะมีพลังงานภายในอยู่ พลังงานภายในเกิดจากการเคลื่อนที่ของปริมาณ

$$U = mc_v (T)$$

โดย

$$U = \text{พลังงานภายใน (KJ)}$$

$$m = \text{มวลของสสาร (kg)}$$

$$c_v = \text{ความจุความร้อนจำเพาะ ณ ปริมาตรคงที่ (KJ/kg.K)}$$

$$T = \text{อุณหภูมิ (K)}$$

4. พลังงานหรืองานที่เกิดจากของไหล (Pressure Energy) คือ งานที่กระทำต่อมวลของของไหล เมื่อของไหลถูกบังคับให้ไหลผ่านขอบเขต ซึ่งจะคำนวณได้จากผลคูณของความดันและปริมาตร

$$P.r.E = P.V$$

โดย

$$P.r.E = \text{พลังงานหรืองานที่เกิดจากของไหล (N.m หรือ J)}$$

$$P = \text{ความดันของของไหล (N/m}^2\text{)}$$

$$V = \text{ปริมาตรของของไหล (m}^3\text{)}$$

## 6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

### แบบฝึกหัดที่ 6 สมการโมเมนตัมและพลังงาน

1. กฎข้อที่สองของนิวตันกล่าวไว้ว่าอย่างไร

.....

.....

.....

2. โมเมนตัม คืออะไร

.....

.....

.....

3. การดล คืออะไร

.....

.....

.....

4. การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมมีค่าเท่ากับอะไร

.....

.....

.....

5. พลังงาน คืออะไร

.....

.....

.....

6. กำลังงาน คืออะไร

.....

.....

.....

7. พลังงานหรืองานที่เกิดจากของไหล คืออะไร

.....

.....

.....

8. กฎของพอยเซลล์กล่าวไว้ว่าอย่างไร

.....

.....

.....

9. กฎของสโตกส์กล่าวไว้ว่าอย่างไร

.....

.....

.....

10. จากกฎของพอยเซลล์ ความเร็วสูงสุดของของไหลอยู่ที่ใด

.....

.....

.....



## 7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

## 8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

### เฉลยแบบฝึกหัดที่ 6 สมการโมเมนตัมและพลังงาน

#### 1. กฎข้อที่สองของนิวตันกล่าวไว้ว่าอย่างไร

กฎข้อที่สองของนิวตันกล่าวไว้ว่า แรงที่กระทำกับวัตถุจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวลและเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร่ง

#### 2. โมเมนตัม คืออะไร

โมเมนตัม คือ มวลของวัตถุนั้นคูณกับความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่

#### 3. การดล คืออะไร

การดล คือ ผลคูณของแรงดลกับช่วงเวลาสั้น ๆ ที่แรงกระทำต่อวัตถุ

#### 4. การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมมีค่าเท่ากับอะไร

การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมมีค่าเท่ากับโมเมนตัมโดยการดล

#### 5. พลังงาน คืออะไร

พลังงาน คือ ความสามารถที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความร้อน งาน และพลังงาน

#### 6. กำลังงาน คืออะไร

กำลังงาน คือ งานหรือพลังงานต่อหน่วยเวลา

#### 7. พลังงานหรืองานที่เกิดจากของไหล คืออะไร

พลังงานหรืองานที่เกิดจากของไหล คือ งานที่กระทำต่อมวลของของไหล เมื่อของไหลถูกบังคับให้ไหลผ่านขอบเขต

#### 8. กฎของพอยเซลล์กล่าวไว้ว่าอย่างไร

กฎของพอยเซลล์กล่าวไว้ว่า ผลของความหนืดของของไหลที่ไหลผ่านท่อ โดยความเร็วของของไหลในท่อเดียวกันมีความเร็วไม่เท่ากัน

#### 9. กฎของสโตกส์กล่าวไว้ว่าอย่างไร

กฎของสโตกส์กล่าวไว้ว่า แรงต้านทานเนื่องจากการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมในของไหล ขึ้นอยู่กับความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล

#### 10. จากกฎของพอยเซลล์ ความเร็วสูงสุดของของไหลอยู่ที่ใด

จากกฎของพอยเซลล์ ความเร็วสูงสุดของของไหลอยู่ที่จุดศูนย์กลางของท่อ

|                                                                                   |                                                          |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบงาน ที่ 6                                              | หน่วยที่ ... 6               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 11               |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ สมการโมเมนตัมและพลังงาน             | ทฤษฎี 3 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง สมการโมเมนตัมและพลังงาน                                                |                                                          |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับสมการของการไหล

3.2. คำนวณพลังงานของของไหล

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายกฎของพอยเซลเล่ได้ถูกต้อง

4.2. อธิบายกฎของสโตกส์ได้ถูกต้อง

4.3. อธิบายการดลได้ถูกต้อง

4.4. อธิบายโมเมนตัมได้ถูกต้อง

4.5. อธิบายพลังงานรูปต่างๆ ได้ถูกต้อง

4.6. คำนวณหาโมเมนตัม การดล และพลังงานรูปต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง

### 5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

1. แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ใบความรู้ที่ 1

3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

### 6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

ไม่มี

### 7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

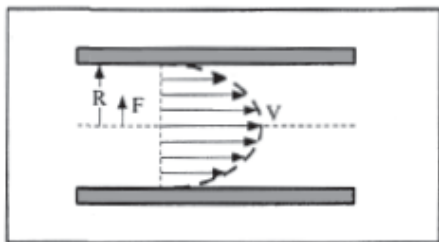
1. ครูอธิบายจุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ให้นักเรียนฟัง

2. ครูอธิบายความเป็นมาของสมการโมเมนตัมและพลังงานให้นักเรียนฟัง

ขั้นสอน

1. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับกฎของพอยเซลเล่

กฎของพอยเซลเล่ คือ ผลของความหนืดของของไหลที่ไหลผ่านท่อ โดยความเร็วของของไหลในท่อเดียวกัน มีความเร็วไม่เท่ากันที่จุดศูนย์กลางของท่อมีความเร็วสูงสุด และมีค่าความเร็วเป็นศูนย์ที่บริเวณผนังท่อ ดังรูป



2. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับกฎของสโตกส์

กฎของสโตกส์ คือ แรงต้านทานเนื่องจากการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมในของไหล ขึ้นอยู่กับความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล รัศมีของวัตถุทรงกลม และความเร็วของวัตถุทรงกลมสัมพันธ์กับของไหล ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$F = 6\pi\mu rV$$

3. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการดลและโมเมนตัม

การดล คือ ผลคูณของแรงดลกับช่วงเวลาสั้น ๆ ที่แรงกระทำต่อวัตถุ ดังนั้นสามารถคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{การดล} = F \times t$$

โดย  $I =$  การดล

$F =$  แรงดลที่กระทำ (N)

$t =$  เวลาที่แรงนั้นกระทำ (s)

หน่วยของการดล มีหน่วยเป็น (N.s)

โมเมนตัม คือ มวลของวัตถุคูณกับความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่ ดังนั้นสามารถคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{โมเมนตัม} = m \times v$$

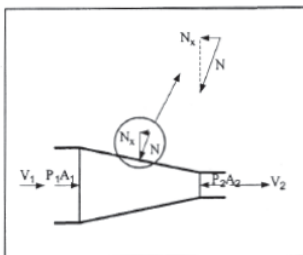
โดย  $m =$  มวลของวัตถุ (kg)

$v =$  ความเร็วของวัตถุ ( $\frac{m}{s}$ )

หน่วยของโมเมนตัม มีหน่วยเป็น (kg.m/s)

4. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับแรงบนท่อความดัน

เมื่อพิจารณาการไหลของของไหลผ่านท่อภายใต้ความดัน จะมีแรงมากระทำกับของไหล ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เปลี่ยนไป ดังรูป



##### 5. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับพลังงาน

พลังงาน คือ ความสามารถในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความร้อน งาน และพลังงาน

กำลัง คือ งานหรือพลังงานต่อหน่วยเวลา

งาน คือ ผลของแรงคูณระยะทาง

พลังงานที่มีอยู่หลายแบบ เช่น พลังงานศักย์ พลังงานจลน์ พลังงานภายใน พลังงานจากการไหลของ

ของไหล

##### ขั้นสรุป

1. ครูและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาที่เรียน
2. ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด

##### 8. สรุปและวิจารณ์ผล

กฎข้อที่สองของนิวตัน กล่าวไว้ว่า แรงที่กระทำกับวัตถุจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวลและเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร่ง โดยกฎดังกล่าวนำมาใช้วิเคราะห์หาโมเมนตัม-การดล ที่เกิดขึ้นในของไหลและใช้วิเคราะห์แรงของของไหลที่กระทำกับท่อ พลังงานที่เกิดขึ้นในของไหลเกิดขึ้นเนื่องจากของไหลมีการเคลื่อนที่โดยแรงที่กระทำกับของไหลนั้นในระยะเวลาที่กำหนดให้

##### 9. การประเมินผล

1. เกณฑ์ผ่านการสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
2. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้ มีเกณฑ์ผ่าน 50%

##### 10. เอกสารอ้างอิง/เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

**แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 1**  
**รายวิชา รายวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล รหัสวิชา 30101-2001**  
**เรื่อง สมการโมเมนตัมและพลังงาน**

ชื่อ.....สกุล.....ระดับชั้น ..... สาขาวิชา.....กลุ่ม.....

| ลำดับที่ | หัวข้อการประเมิน                                        | ระดับคะแนน |   |   |   |   | หมายเหตุ |
|----------|---------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|----------|
|          |                                                         | 5          | 4 | 3 | 2 | 1 |          |
| 1        | ด้านคุณธรรม จริยธรรม<br>เข้าเรียนตรงต่อเวลา             |            |   |   |   |   |          |
| 2        | มีวินัย และแต่งกายถูกระเบียบ                            |            |   |   |   |   |          |
| 3        | มีความมุ่งมั่น และตั้งใจปฏิบัติงาน                      |            |   |   |   |   |          |
| 4        | มีการทำงานร่วมกับผู้อื่น หรือเป็นทีม                    |            |   |   |   |   |          |
| 5        | ส่งงานในเวลาที่กำหนด                                    |            |   |   |   |   |          |
| 6        | ด้านทักษะการปฏิบัติงาน<br>การปฏิบัติงานเป็นไปตามขั้นตอน |            |   |   |   |   |          |
| 7        | แบบงานมีความประณีต และสวยงาม                            |            |   |   |   |   |          |
| 8        | แบบงานถูกต้องตามหลักวิชาการ                             |            |   |   |   |   |          |
| 9        | ปฏิบัติงานเสร็จสิ้นตามเวลาที่กำหนด                      |            |   |   |   |   |          |
| 10       | มีสุขภาพดีของความปลอดภัย                                |            |   |   |   |   |          |
|          | รวมคะแนน                                                |            |   |   |   |   |          |

สรุปผลการประเมิน ผ่าน ไม่ผ่าน คะแนนที่ได้.....

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน  
 (.....)  
 ...../...../.....

**แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล**  
**หน่วยที่ 1 เรื่อง สมการโมเมนต์และพลังงาน**

**คำชี้แจง** ให้ทำเครื่องหมาย ✓ และหากผู้เรียนมีพฤติกรรมนั้น ลงในช่องรายการ

| ที่ | ชื่อ-<br>นามสกุล | การสังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนในระหว่างเรียน |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   | รวม<br>คะแนน |                           |   |   |   |
|-----|------------------|--------------------------------------------|---|---|---|------------------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|------------------------|---|---|---|--------------|---------------------------|---|---|---|
|     |                  | การสนใจเรียน                               |   |   |   | การแสดง<br>ความคิดเห็น |   |   |   | การตอบ<br>คำถาม |   |   |   | การยอมรับฟัง<br>คนอื่น |   |   |   |              | ทำงานตามที่<br>ครูมอบหมาย |   |   |   |
|     |                  | 4                                          | 3 | 2 | 1 | 4                      | 3 | 2 | 1 | 4               | 3 | 2 | 1 | 4                      | 3 | 2 | 1 |              | 4                         | 3 | 2 | 1 |
| 1   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 2   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 3   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 4   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 5   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 6   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 7   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 8   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 9   |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 10  |                  |                                            |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |

**เกณฑ์การวัดผล** ให้คะแนนระดับคุณภาพของแต่ละพฤติกรรมดังนี้

1. ดีมาก = 4 สนใจฟัง ไม่หลับ ไม่พูดคุยในชั้น มีคำถาม ตอบคำถามถูก ทำงานส่งตามเวลาอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 90 - 100%
2. ดี = 3 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 70 - 89%
3. ปานกลาง = 2 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 50 - 69 %
4. ปรับปรุง = 1 เข้าชั้นเรียน แต่การแสดงออกน้อยมาก ส่งงานไม่ครบ ส่งงานไม่ตรงเวลา

**เกณฑ์การประเมิน**

คะแนนรวมตามแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

ลงชื่อ .....ครูผู้สอนสังเกต  
 (.....)

**วิทยาลัยการอาชีพบางสะพาน**  
**แบบประเมินด้านคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์**

สาขาวิชา.....สาขางาน.....ระดับชั้น.....กลุ่ม.....

| ลำดับ<br>ที่ | ชื่อ-สกุล | รายการประเมิน    |               |           |             |         |           |         |           |       |            | คะแนนรวม | คะแนนเฉลี่ย |
|--------------|-----------|------------------|---------------|-----------|-------------|---------|-----------|---------|-----------|-------|------------|----------|-------------|
|              |           | ยึดมั่นในสถาบันฯ | ละเว้นอบายมุข | ความเมตตา | ความสามัคคี | จิตอาสา | ซื่อสัตย์ | ประหยัด | ซื่อสัตย์ | สุภาพ | ตรงต่อเวลา |          |             |
| 1            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 2            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 3            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 4            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 5            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 6            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 7            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 8            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 9            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 10           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 11           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 12           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 13           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 14           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 15           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 16           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 17           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 18           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 19           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 20           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |

หมายเหตุ

- เกณฑ์การประเมินคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์

- 3 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนแสดงประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอและเป็นผู้ทำได้  
 2 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอ  
 1 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติไม่สม่ำเสมอ  
 0 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนไม่ประพฤติปฏิบัติ

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | แผนการจัดการเรียนรู้                                      | หน่วยที่ ... 7               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 12               |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ สมการการไหลต่อเนื่อง                 | ทฤษฎี 3 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง/งาน สมการการไหลต่อเนื่อง                                               |                                                           |                              |

# 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

# 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

# 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีการไหลของของไหล

3.2. คำนวณสมการของการไหลต่อเนื่อง

# 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายทฤษฎีของการไหลของของไหลได้ถูกต้อง

4.2. อธิบายคำจำกัดความของอัตราการไหลได้ถูกต้อง

4.3. อธิบายคำจำกัดความกฎของมวลได้ถูกต้อง

4.4. คำนวณหาอัตราการไหลของของไหลได้ถูกต้อง

4.5. คำนวณหาความเร็วของของไหลได้ถูกต้อง

# 5. สารการเรียนรู้

5.1. ทฤษฎีการไหลของของไหล

5.2. อัตราการไหล

5.3. ความเร็วเฉลี่ย

5.4. กฎของมวล

5.5. สมการการไหลต่อเนื่อง

# 6. กิจกรรมการเรียนรู้

## 6.1 การนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายจุดประสงค์การเรียนรู้ สารการเรียนรู้ให้นักเรียนฟัง

2. ครูอธิบายความเป็นมาหรือสาระสำคัญของสมการการไหลต่อเนื่องให้นักเรียนฟัง

## 6.2 การเรียนรู้

6.2.1 หนังสือเรียน วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ของสำนักพิมพ์เอ็มแพนส์

6.2.2 สื่ออิเล็กทรอนิกส์ และ Power Point

6.2.3 กิจกรรมการเรียนการสอน

6.2.4 รูปภาพประกอบ

6.2.5 แบบหุ่นจำลอง

## 6.3 การสรุป

6.3.1 สรุปบทเรียนส่วนที่เป็นสาระสำคัญ

#### 6.4 การวัดและประเมินผล

- 6.4.1. สังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
- 6.4.2. กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้
- 6.4.3. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้
- 6.4.4. แบบประเมินผลการปฏิบัติงานและแบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม

#### 7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

- 7.1. Power Point เรื่อง สมการการไหลต่อเนื่อง

#### 8. หลักฐานการเรียนรู้

##### 8.1 หลักฐานความรู้

1. เอกสารรับรองจากการทดสอบความรู้

##### 8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน

1. แบบบันทึกความคิดเห็นของครูผู้สอน
2. แบบรับรองการปฏิบัติงานจากสถานประกอบการ
3. แบบบันทึกรายการจากการสังเกตจากการปฏิบัติงาน

#### 9. การวัดและประเมินผล

##### 9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน

1. วางแผนและเตรียมความพร้อมในการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง สมการการไหลต่อเนื่อง
2. สรุปผลการวางแผนช่องทางการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง สมการการไหลต่อเนื่อง

##### 9.2 วิธีการประเมิน

1. พิจารณาหลักฐานความรู้
2. พิจารณาหลักฐานการปฏิบัติงาน

##### 9.3 เครื่องมือประเมิน

1. แบบทดสอบก่อนเรียน
2. ใบความรู้ที่ 1
3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

## 10. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

### 10.1 ข้อสรุปหลังการจัดการเรียนรู้

---

---

---

### 10.2 ปัญหาที่พบ

---

---

---

### 10.3 แนวทางแก้ปัญหา

---

---

---



|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบความรู้ ที่ 1                                           | หน่วยที่ ... 7               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 12               |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ สมการการไหลต่อเนื่อง                 | ทฤษฎี 3 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง สมการการไหลต่อเนื่อง                                                   |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีการไหลของของไหล

3.2. คำนวณสมการของการไหลต่อเนื่อง

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายทฤษฎีของการไหลของของไหลได้ถูกต้อง

4.2. อธิบายคำจำกัดความของอัตราการไหลได้ถูกต้อง

4.3. อธิบายคำจำกัดความกฎของมวลได้ถูกต้อง

4.4. คำนวณหาอัตราการไหลของของไหลได้ถูกต้อง

4.5. คำนวณหาความเร็วของของไหลได้ถูกต้อง

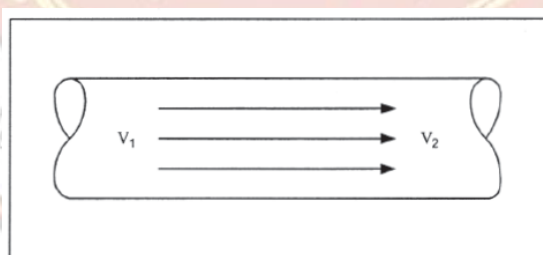
### 5. เนื้อหาสาระ

ทฤษฎีการไหลของของไหล (Theory of Fluid Flow)

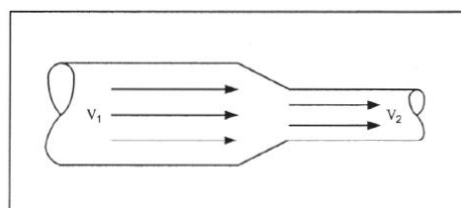
การไหลของของไหลแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

#### 1. ความเร็วของการไหลของของไหล มี 2 อย่าง คือ

1.1 ไหลแบบสม่ำเสมอ (Steady Flow) หมายถึง การไหลของของไหลที่ผ่านจุดที่ต้องการวัดด้วยความเร็วคงที่ ความเร็วที่จุด 1 เท่ากับความเร็วที่จุด 2

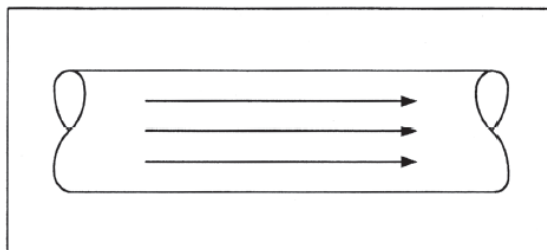


1.2 ไหลแบบสม่ำเสมอ (Unsteady Flow) หมายถึง การไหลของของไหลที่ชนิดที่ความเร็วในการไหล ณ จุดใด ๆ มีการเปลี่ยนแปลงหรือขาดช่วง ความเร็วที่จุด 1 ไม่เท่ากับความเร็วที่จุด 2

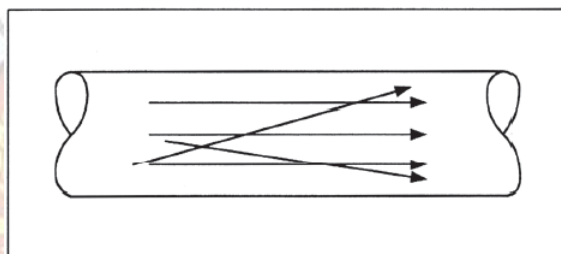


## 2. พื้นที่ของการไหลของของไหล มี 2 อย่าง คือ

2.1 พื้นไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) หมายถึง การไหลของของไหลเคลื่อนที่ตามกันไปเป็นแผ่นหรือเป็นชั้นเรียบๆ โดยที่แผ่นหนึ่งเลื่อนเรียบเหนือแผ่นอื่น

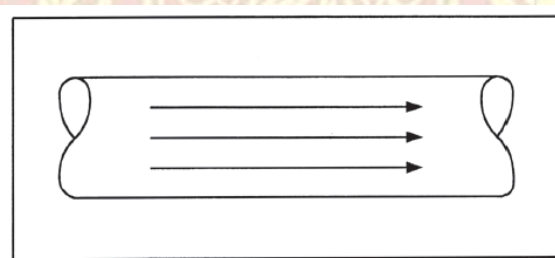


2.2 พื้นไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) หมายถึง การไหลของของไหลเคลื่อนที่ไปในทิศทางไม่แน่นอน มีการเคลื่อนที่ขึ้นลง หมุนวนจากส่วนหนึ่งของของไหลไปยังส่วนอื่น

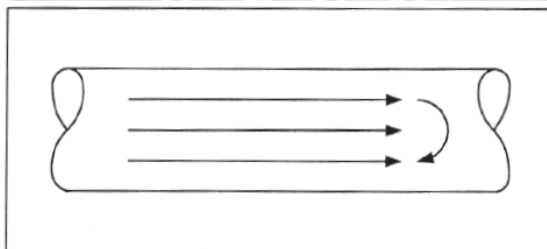


## 3. ทิศทางของการไหล มี 3 อย่าง คือ

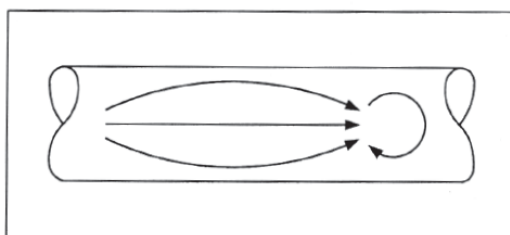
3.1 การไหลทิศทางเดียว หมายถึง มีการไหลของของไหลในทิศทางเดียว



3.2 การไหลสองทิศทาง หมายถึง มีการไหลของของไหลสองทิศทาง



3.3 การไหลสามทิศทาง หมายถึง มีการไหลของของไหลสามทิศทาง



### อัตราการไหล (Flow Rate)

อัตราการไหล หมายถึง ปริมาตรการไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดที่กำหนดไว้ในหนึ่งหน่วยเวลา

$$Q = \frac{V}{T}$$

$$Q = \text{อัตราการไหลของของไหล (m}^3/\text{s)}$$

$$V = \text{ปริมาตรการไหล (m}^3\text{)}$$

$$T = \text{เวลาเป็นวินาที (s)}$$

อัตราการไหล นอกจากจะหาได้จากสูตร  $\frac{V}{T}$  แล้ว ยังสามารถหาได้จากอัตราการไหลของของไหลต่อน้ำหนักจำเพาะของของไหล

$$Q = \frac{W}{\gamma}$$

$$Q = \text{อัตราการไหลของของไหล (m}^3/\text{s)}$$

$$W = \text{อัตราการไหลของของไหล (N/s)}$$

$$\gamma = \text{น้ำหนักจำเพาะของของไหลนั้น (N/m}^3\text{)}$$

### ความเร็วเฉลี่ย (Mean Velocity)

ความเร็วเฉลี่ย หมายถึง อัตราการไหลของของไหลต่อพื้นที่หน้าตัดของของไหลนั้น

$$V = \frac{Q}{A}$$

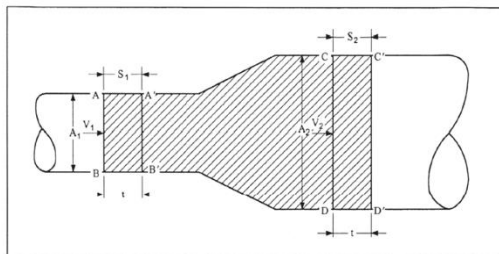
$$V = \text{ความเร็วเฉลี่ยของของไหล (m/s)}$$

$$Q = \text{อัตราการไหลของของไหล (m}^3/\text{s)}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดของของไหล (m}^2\text{)}$$

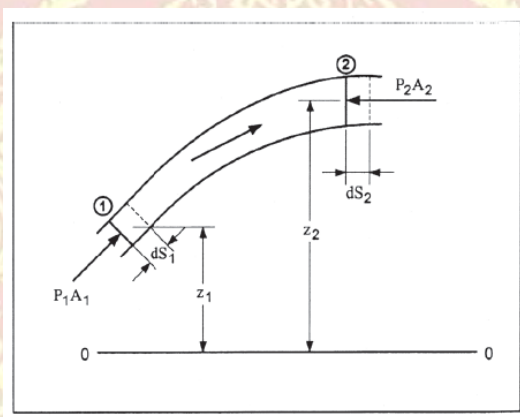
### กฎของมวล (Law of Mass)

จากกฎของมวลที่ว่า “มวลสารไม่สามารถสร้างขึ้นหรือหายไป” มวลที่หายไป ความจริงแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่น ดังนั้น ในระบบที่มีการไหลสม่ำเสมอจึงกำหนดไว้ว่า มวลสารที่ไหลผ่านส่วนภาคตัดต่างๆ ในกระแสนของการไหลของของไหลต้องเท่าเดิมเสมอ



### สมการการไหลต่อเนื่อง (Equation of Continuity)

กฎของมวลกำหนดว่า เมื่อมีการไหลสม่ำเสมอ มวลของของไหลจะคงที่



จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 m_1 &= m_2 \\
 \rho_1 V_1 &= \rho_2 V_2 \\
 \rho_1 A_1 \frac{dS_1}{dt} &= \rho_2 A_2 \frac{dS_2}{dt} \\
 \rho_1 A_1 V_1 &= \rho_2 A_2 V_2
 \end{aligned}$$

ของไหลชนิดเดียวกัน ความหนาแน่นจะมีค่าเท่ากัน คือ  $\rho_1 = \rho_2$

จากสมการ 7.4 จะได้ว่า

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

|     |          |                                   |
|-----|----------|-----------------------------------|
| โดย | $Q$      | = อัตราการไหลของของไหล            |
|     | $A_1$    | = พื้นที่หน้าตัดของของไหลที่จุด 1 |
|     | $A_2$    | = พื้นที่หน้าตัดของของไหลที่จุด 2 |
|     | $\rho_1$ | = ความหนาแน่นของของไหลที่จุด 1    |
|     | $\rho_2$ | = ความหนาแน่นของของไหลที่จุด 2    |
|     | $dS_1$   | = ระยะทางเข้า                     |
|     | $dS_2$   | = ระยะทางออก                      |

จากสมการ 7.4 จะได้ว่า

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

|           |       |                                            |
|-----------|-------|--------------------------------------------|
| (ต่อ) โดย | $v_1$ | = ความเร็วที่จุด 1                         |
|           | $v_2$ | = ความเร็วที่จุด 2                         |
|           | $V_1$ | = ความหนาแน่นของของไหลที่จุด 1 $A_1, dS_1$ |
|           | $V_2$ | = ความหนาแน่นของของไหลที่จุด 1 $A_2, dS_2$ |

ซึ่งสมการที่ 7.4 และสมการที่ 7.5 เรียกว่า สมการการไหลต่อเนื่อง (Equation of Continuity) เป็นสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของของไหล

**วิธีทำ**

การใช้น้ำของโรงงานผลิตอาหารไก่ ใช้น้ำ  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  มีความเร็วในการไหลของน้ำในท่อ  $10 \text{ m/s}$  จงหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อน้ำ

|         |                   |                                                                      |
|---------|-------------------|----------------------------------------------------------------------|
| จากสูตร | $Q$               | $= A \cdot v$                                                        |
| โดย     | $A$               | $=$ พื้นที่หน้าตัดของท่อ                                             |
|         | $Q$               | $=$ อัตราการไหลของน้ำในท่อ $20 \text{ m}^3/\text{s}$                 |
| ดังนั้น | $V$               | $=$ ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อ $10 \text{ m/s}$                     |
|         | $A$               | $= \frac{Q}{V}$                                                      |
|         |                   | $= \frac{20 (\text{m}^3/\text{s})}{10 (\text{m/s})} = 2 \text{ m}^2$ |
|         | $A$               | $= \frac{\pi d^2}{4}$                                                |
|         | $2$               | $= \frac{3.14 \times d^2}{4}$                                        |
|         | $3.14 \times d^2$ | $= 2 \times 4$                                                       |
|         | $d^2$             | $= \frac{2 \times 4}{3.14}$                                          |
|         | $d$               | $= \sqrt{\frac{8}{3.14}} = \sqrt{2.54} = 1.59 \text{ m}$             |

ตอบ

## 6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

### แบบฝึกหัดที่ 7 สมการการไหลต่อเนื่อง

1. การไหลของของไหลแบบสม่ำเสมอ หมายถึงอะไร

---

---

---

2. การไหลของของไหลแบบไม่สม่ำเสมอ หมายถึงอะไร

---

---

---

3. พื้นของการไหลแบบปั่นป่วน หมายถึงอะไร

---

---

---

4. อัตราการไหล หมายถึงอะไร

---

---

---

5. กฎของมวลกล่าวไว้ว่าอย่างไร

---

---

---

6. สมการการไหลต่อเนื่องใช้สำหรับอะไร

---

---

---

7. พื้นของการไหลแบบราบเรียบ หมายถึงอะไร

---

---

---

8. การไหลทิศทางเดียว หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

9.  $\frac{w}{\gamma}$  คืออะไร

.....

.....

.....

10. ความเร็วเฉลี่ย หมายถึงอะไร

.....

.....

.....



## 7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

## 8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

### เฉลย แบบฝึกหัดที่ 7 สมการการไหลต่อเนื่อง

#### 1. การไหลของของไหลแบบสม่ำเสมอ หมายถึงอะไร

การไหลของของไหลแบบสม่ำเสมอ หมายถึง การไหลของของไหลที่ผ่านจุดที่ต้องการวัดด้วยความเร็วคงที่

#### 2. การไหลของของไหลแบบไม่สม่ำเสมอ หมายถึงอะไร

การไหลของของไหลแบบไม่สม่ำเสมอ หมายถึง การไหลของของไหลชนิดที่ความเร็วในการไหล ณ จุดใด มีการเปลี่ยนแปลงหรือขาดช่วง

#### 3. พื้นของการไหลแบบปั่นป่วน หมายถึงอะไร

พื้นที่ของการไหลแบบปั่นป่วน หมายถึง การไหลของของไหลเคลื่อนที่ไปในทิศทางมีแน่นอน มีการเคลื่อนที่ขึ้นลง หมุนจากส่วนหนึ่งของของไหลไปยังส่วนอื่น

#### 4. อัตราการไหล หมายถึงอะไร

อัตราการไหล หมายถึง ปริมาตรการไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดที่กำหนดไว้ในหนึ่งหน่วย

#### 5. กฎของมวลกล่าวไว้ว่าอย่างไร

กฎของมวลกล่าวไว้ว่า มวลสารไม่สามารถสร้างขึ้นหรือหายไป มวลที่หายไปความจริงแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่น

#### 6. สมการการไหลต่อเนื่องใช้สำหรับอะไร

สมการการไหลต่อเนื่องใช้สำหรับการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของของไหล

#### 7. พื้นของการไหลแบบราบเรียบ หมายถึงอะไร

พื้นที่ของการไหลแบบราบเรียบ หมายถึง การไหลของของไหลเคลื่อนที่ตามกันไปเป็นแผ่นหรือเป็นชั้นเรียบ โดยแผ่นหนึ่งเลื่อนเรียบเหนือแผ่นอื่น

#### 8. การไหลทิศทางเดียว หมายถึงอะไร

การไหลทิศทางเดียว หมายถึง การไหลของของไหลไปในทิศทางเดียว

#### 9. $w$ คืออะไร

$\gamma$

$w$  คือ สูตรในการหาค่าของอัตราการไหลของของไหล

$\gamma$

#### 10. ความเร็วเฉลี่ย หมายถึงอะไร

ความเร็วเฉลี่ย หมายถึง อัตราการไหลของของไหลต่อพื้นที่หน้าตัดของของไหลนั้น

|                                                                                   |                                                          |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบงาน ที่ 7                                              | หน่วยที่ ... 7               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 12               |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ สมการการไหลต่อเนื่อง                | ทฤษฎี 3 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง สมการการไหลต่อเนื่อง                                                   |                                                          |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีการไหลของของไหล

3.2. คำนวณสมการของการไหลต่อเนื่อง

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายทฤษฎีของการไหลของของไหลได้ถูกต้อง

4.2. อธิบายคำจำกัดความของอัตราการไหลได้ถูกต้อง

4.3. อธิบายคำจำกัดความกฎของมวลได้ถูกต้อง

4.4. คำนวณหาอัตราการไหลของของไหลได้ถูกต้อง

4.5. คำนวณหาความเร็วของของไหลได้ถูกต้อง

### 5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

1. แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ใบความรู้ที่ 1

3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

### 6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

ไม่มี

### 7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

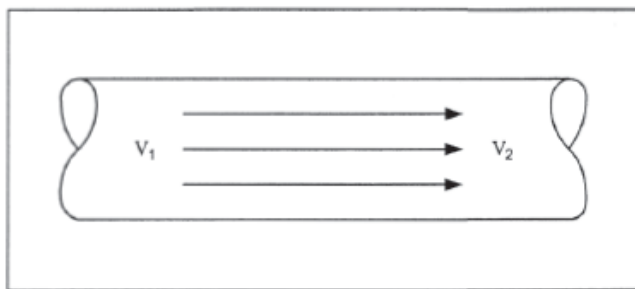
1. ครูอธิบายจุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ให้นักเรียนฟัง

2. ครูอธิบายความเป็นมาหรือสาระสำคัญของสมการการไหลต่อเนื่องให้นักเรียนฟัง

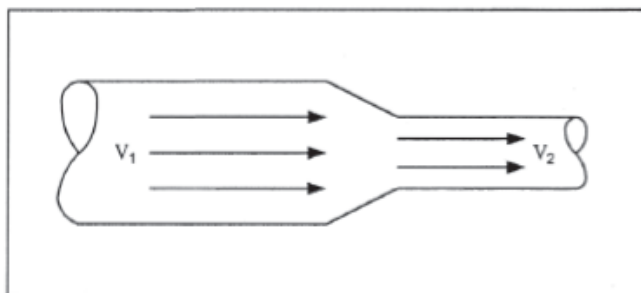
ขั้นสอน

1. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีการไหลของของไหล  
การไหลของของไหลแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

- ความเร็วของการไหลของของไหล มี 2 อย่าง คือ การไหลแบบสม่ำเสมอ และการไหลแบบไม่สม่ำเสมอ  
ซึ่งมีลักษณะของการไหลของของไหล ดังรูป

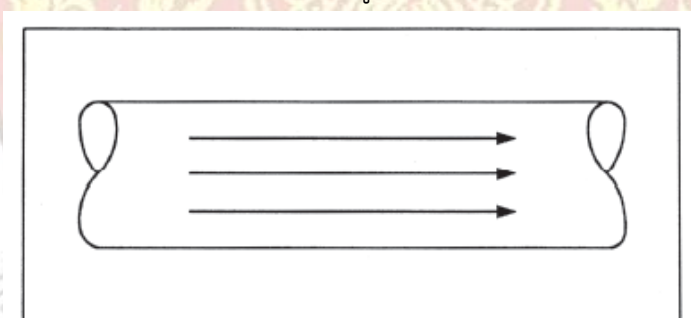


รูปแสดงการไหลแบบสม่ำเสมอ

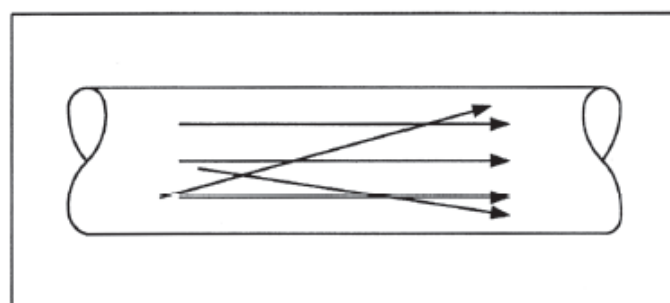


รูปแสดงการไหลแบบสม่ำเสมอ

- พื้นที่ของการไหลของของไหล มี 2 อย่าง คือ พื้นที่ไหลแบบราบเรียบ และพื้นที่ไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งมีลักษณะพื้นที่ของการไหลของของไหล ดังรูป

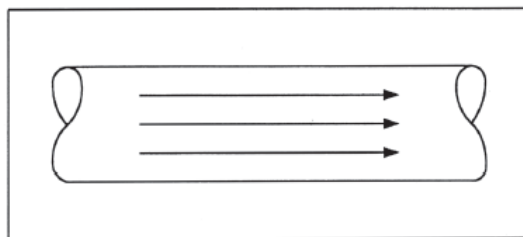


รูปแสดงลักษณะพื้นที่ของการไหลของของไหลแบบราบเรียบ

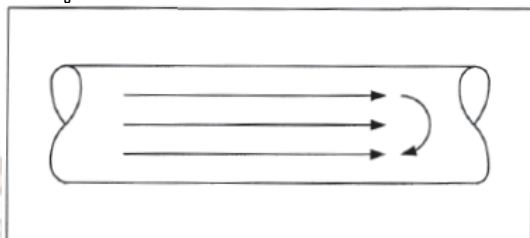


รูปแสดงลักษณะพื้นที่ของการไหลของของไหลแบบปั่นป่วน

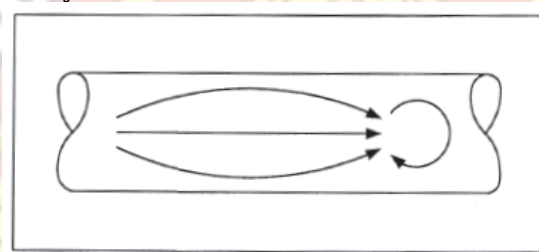
- ทิศทางของการไหล มี 3 อย่าง คือ การไหลทิศทางเดียว การไหลสองทิศทาง การไหลสามทิศทาง ซึ่งจะมีลักษณะทิศทางของการไหล ดังรูป



รูปแสดงทิศทางของการไหลทิศทางเดียว



รูปแสดงทิศทางของการไหลสองทิศทาง



รูปแสดงทิศทางของการไหลสามทิศทาง

2. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับอัตราการไหล

อัตราการไหล หมายถึง ปริมาตรการไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดที่กำหนดไว้ในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Q = \frac{V}{T}$$

อัตราการไหล นอกจากจะหาได้จากสูตร  $\frac{V}{T}$  แล้ว ยังสามารถหาได้จากอัตราการไหลของของไหลต่อหน้าหนักจำเพาะของของไหลนั้น

$$Q = \frac{W}{\gamma}$$

โดย  $Q$  = อัตราการไหลของของไหล ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$W$  = อัตราการไหลของของไหล ( $\text{N/s}$ )

$\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของของไหลนั้น ( $\text{N/m}^3$ )

3. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความเร็วเฉลี่ย

ความเร็วเฉลี่ย หมายถึง อัตราการไหลของของไหลต่อพื้นที่หน้าตัดของของไหลนั้น

$$V = \frac{Q}{A}$$

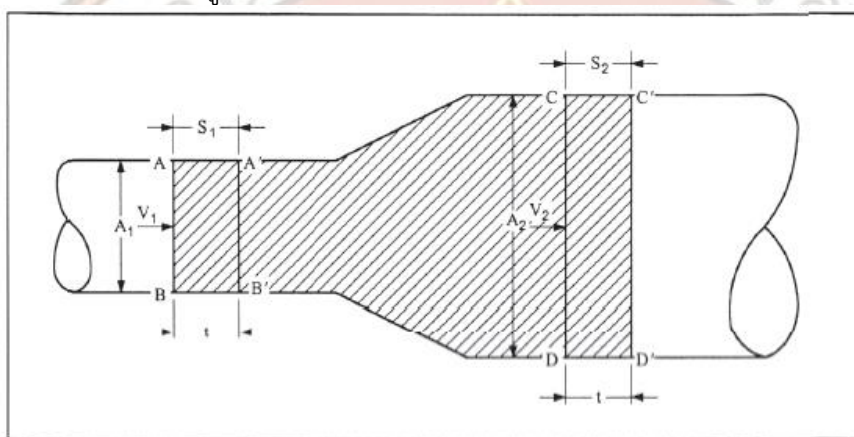
โดย  $V$  = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล (m/s)

$Q$  = อัตราการไหลของของไหล (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของของไหล (m<sup>2</sup>)

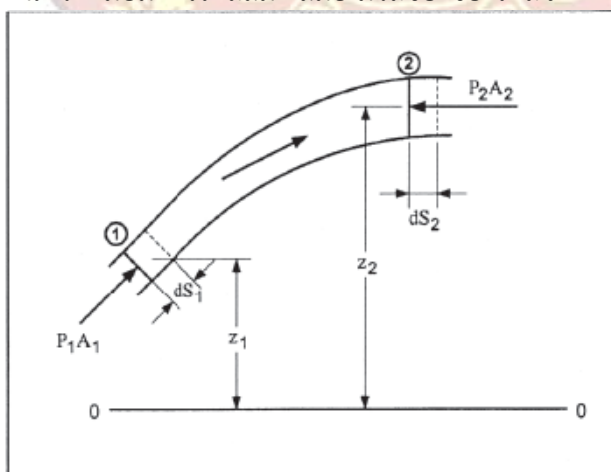
#### 4. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับกฎของมวล

จากกฎของมวลที่ว่า มวลสารไม่สามารถสร้างขึ้นหรือหายไป มวลที่หายไป ความจริงแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่น ดังนั้นในระบบที่มีการไหลสม่ำเสมอจึงกำหนดได้ว่า มวลสารที่ไหลผ่านส่วนภาคตัดต่าง ๆ ในกระแสน้ำของการไหลของของไหลต้องเท่าเดิมเสมอ ดังรูป



#### 5. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับสมการการไหลต่อเนื่อง

กฎของมวลกำหนดว่า เมื่อมีการไหลสม่ำเสมอ มวลของของไหลจะคงที่ ดังรูป



#### ขั้นสรุป

1. ครูและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาที่เรียน

## 2. ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด

### 8. สรุปและวิจารณ์ผล

ทฤษฎีการไหลของของไหล ทำให้ทราบถึงลักษณะของการไหล กล่าวคือ ไหลแบบราบเรียบไหลแบบปั่นป่วน ไหลแบบทิศทางเดียว และไหลแบบหลายทิศทาง ในการไหลของของไหลเราสามารถหาอัตราการไหลของของไหล และกฎของมวลที่ใช้หาสมการไหลต่อเนื่อง เพื่อใช้วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของของไหล

### 9. การประเมินผล

1. เกณฑ์ผ่านการสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
2. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้ มีเกณฑ์ผ่าน 50%

### 10. เอกสารอ้างอิง/เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม



แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 1  
รายวิชา รายวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล รหัสวิชา 30101-2001  
เรื่อง สมการการไหลต่อเนื่อง

ชื่อ.....สกุล.....ระดับชั้น ..... สาขาวิชา.....กลุ่ม.....

| ลำดับที่ | หัวข้อการประเมิน                                        | ระดับคะแนน |   |   |   |   | หมายเหตุ |
|----------|---------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|----------|
|          |                                                         | 5          | 4 | 3 | 2 | 1 |          |
| 1        | ด้านคุณธรรม จริยธรรม<br>เข้าเรียนตรงต่อเวลา             |            |   |   |   |   |          |
| 2        | มีวินัย และแต่งกายถูกระเบียบ                            |            |   |   |   |   |          |
| 3        | มีความมุ่งมั่น และตั้งใจปฏิบัติงาน                      |            |   |   |   |   |          |
| 4        | มีการทำงานร่วมกับผู้อื่น หรือเป็นทีม                    |            |   |   |   |   |          |
| 5        | ส่งงานในเวลาที่กำหนด                                    |            |   |   |   |   |          |
| 6        | ด้านทักษะการปฏิบัติงาน<br>การปฏิบัติงานเป็นไปตามขั้นตอน |            |   |   |   |   |          |
| 7        | แบบงานมีความประณีต และสวยงาม                            |            |   |   |   |   |          |
| 8        | แบบงานถูกต้องตามหลักวิชาการ                             |            |   |   |   |   |          |
| 9        | ปฏิบัติงานเสร็จสิ้นตามเวลาที่กำหนด                      |            |   |   |   |   |          |
| 10       | มีสัญญาณของความปลอดภัย                                  |            |   |   |   |   |          |
|          | รวมคะแนน                                                |            |   |   |   |   |          |

สรุปผลการประเมิน ผ่าน ไม่ผ่าน คะแนนที่ได้.....

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน  
(.....)  
...../...../.....

**แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล**  
**หน่วยที่ 1 เรื่อง สมการการไหลต่อเนื่อง**

**คำชี้แจง** ให้ทำเครื่องหมาย ✓ และหากผู้เรียนมีพฤติกรรมนั้น ลงในช่องรายการ

| ที่ | ชื่อ-<br>นามสกุล | การแสดงพฤติกรรมของผู้เรียนในระหว่างเรียน |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   | รวม<br>คะแนน |                           |   |   |   |
|-----|------------------|------------------------------------------|---|---|---|------------------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|------------------------|---|---|---|--------------|---------------------------|---|---|---|
|     |                  | การสนใจเรียน                             |   |   |   | การแสดง<br>ความคิดเห็น |   |   |   | การตอบ<br>คำถาม |   |   |   | การยอมรับฟัง<br>คนอื่น |   |   |   |              | ทำงานตามที่<br>ครูมอบหมาย |   |   |   |
|     |                  | 4                                        | 3 | 2 | 1 | 4                      | 3 | 2 | 1 | 4               | 3 | 2 | 1 | 4                      | 3 | 2 | 1 |              | 4                         | 3 | 2 | 1 |
| 1   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 2   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 3   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 4   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 5   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 6   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 7   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 8   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 9   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 10  |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |

**เกณฑ์การวัดผล** ให้คะแนนระดับคุณภาพของแต่ละพฤติกรรมดังนี้

1. ดีมาก = 4 สนใจฟัง ไม่หลับ ไม่พูดคุยในชั้น มีคำถาม ตอบคำถามถูก ทำงานส่งตามเวลาอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 90 - 100%
2. ดี = 3 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 70 - 89%
3. ปานกลาง = 2 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 50 - 69 %
4. ปรับปรุง = 1 เข้าชั้นเรียน แต่การแสดงออกน้อยมาก ส่งงานไม่ครบ ส่งงานไม่ตรงเวลา

**เกณฑ์การประเมิน**

คะแนนรวมตามแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

ลงชื่อ .....ครูผู้สอนสังเกต  
(.....)

**วิทยาลัยการอาชีพบางสะพาน**  
**แบบประเมินด้านคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์**

สาขาวิชา.....สาขางาน.....ระดับชั้น.....กลุ่ม.....

| ลำดับ<br>ที่ | ชื่อ-สกุล | รายการประเมิน    |               |           |             |         |           |         |           |       |            | คะแนนรวม | คะแนนเฉลี่ย |
|--------------|-----------|------------------|---------------|-----------|-------------|---------|-----------|---------|-----------|-------|------------|----------|-------------|
|              |           | ยึดมั่นในสถาบันฯ | ละเว้นอบายมุข | ความเมตตา | ความสามัคคี | จิตอาสา | ซื่อสัตย์ | ประหยัด | ซื่อสัตย์ | สุภาพ | ตรงต่อเวลา |          |             |
| 1            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 2            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 3            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 4            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 5            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 6            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 7            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 8            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 9            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 10           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 11           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 12           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 13           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 14           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 15           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 16           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 17           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 18           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 19           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 20           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |

หมายเหตุ

- เกณฑ์การประเมินคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์

- 3 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนแสดงประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอและเป็นผู้ทำได้  
 2 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอ  
 1 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติไม่สม่ำเสมอ  
 0 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนไม่ประพฤติปฏิบัติ

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | แผนการจัดการเรียนรู้                                      | หน่วยที่ ... 8               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 13-14            |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ สมการการไหลสม่ำเสมอ                  | ทฤษฎี 6 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง/งาน สมการการไหลสม่ำเสมอ                                                |                                                           |                              |

# 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

## 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

## 3. สมรรถนะประจำหน่วย

- 3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการไหลสม่ำเสมอที่มีแรงเสียดทานภายในท่อ
- 3.2. คำนวณหาค่าปริมาณต่าง ๆ ในสมการการไหลสม่ำเสมอ

## 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายกฎการทรงพลังงานได้ถูกต้อง
- 4.2. อธิบายคำจำกัดความพลังงานในของไหลได้ถูกต้อง
- 4.3. อธิบายแรงที่เกิดจากของไหลได้ถูกต้อง
- 4.4. อธิบายการไหลของของไหลในช่องทางเปิดได้ถูกต้อง
- 4.5. คำนวณหาค่าต่าง ๆ ในสมการการไหลสม่ำเสมอได้ถูกต้อง
- 4.6. คำนวณหากำลังงานในของไหลได้ถูกต้อง

## 5. สารการเรียนรู้

- 5.1. กฎพลังงานสำหรับการไหลสม่ำเสมอ
- 5.2. พลังงานในการไหลของของไหล
- 5.3. สมการการไหลสม่ำเสมอ
- 5.4. สมการการไหลสม่ำเสมอเนื่องจากมีการเสียดทานภายในท่อ
- 5.5. Energy Line และ Hydraulic Grade Line
- 5.6. การหาค่ากำลังงานในของไหล
- 5.7. แรงที่เกิดจากของไหล
- 5.8. การไหลของของไหลในช่องทางเปิด

## 6. กิจกรรมการเรียนรู้

### 6.1 การนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายจุดประสงค์การเรียนรู้ สารการเรียนรู้ให้นักเรียนฟัง
2. ครูอธิบายความเป็นมาหรือสาระสำคัญของสมการการไหลสม่ำเสมอให้นักเรียนฟัง

### 6.2 การเรียนรู้

- 6.2.1 หนังสือเรียน วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ของสำนักพิมพ์เอ็มแพนธ์
- 6.2.2 สื่ออิเล็กทรอนิกส์ และ Power Point
- 6.2.3 กิจกรรมการเรียนการสอน
- 6.2.4 รูปภาพประกอบ

#### 6.2.5 แบบหุ่นจำลอง

### 6.3 การสรุป

#### 6.3.1 สรุปบทเรียนส่วนที่เป็นสาระสำคัญ

### 6.4 การวัดและประเมินผล

#### 6.4.1. สังเกตพฤติกรรมรายบุคคล

#### 6.4.2. กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้

#### 6.4.3. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้

#### 6.4.4 แบบประเมินผลการปฏิบัติงานและแบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม

### 7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

#### 7.1. Power Point เรื่อง สมการการไหลสม่ำเสมอ

### 8. หลักฐานการเรียนรู้

#### 8.1 หลักฐานความรู้

##### 1. เอกสารรับรองจากการทดสอบความรู้

#### 8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน

##### 1. แบบบันทึกความคิดเห็นของครูผู้สอน

##### 2. แบบรับรองการปฏิบัติงานจากสถานประกอบการ

##### 3. แบบบันทึกรายการจากการสังเกตจากการปฏิบัติงาน

### 9. การวัดและประเมินผล

#### 9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน

##### 1. วางแผนและเตรียมความพร้อมในการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง สมการการไหลสม่ำเสมอ

##### 2. สรุปผลการวางแผนช่องทางการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง สมการการไหลสม่ำเสมอ

#### 9.2 วิธีการประเมิน

##### 1. พิจารณาหลักฐานความรู้

##### 2. พิจารณาหลักฐานการปฏิบัติงาน

#### 9.3 เครื่องมือประเมิน

##### 1. แบบทดสอบก่อนเรียน

##### 2. ใบความรู้ที่ 1

##### 3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

## 10. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

### 10.1 ข้อสรุปหลังการจัดการเรียนรู้

---

---

---

### 10.2 ปัญหาที่พบ

---

---

---

### 10.3 แนวทางแก้ปัญหา

---

---

---



|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบความรู้ ที่ 1                                           | หน่วยที่ ... 8               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 13-14            |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ สมการการไหลสม่ำเสมอ                  | ทฤษฎี 6 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง สมการการไหลสม่ำเสมอ                                                    |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

- 3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการไหลสม่ำเสมอที่มีแรงเสียดทานภายในท่อ
- 3.2. คำนวณหาค่าปริมาณต่าง ๆ ในสมการการไหลสม่ำเสมอ

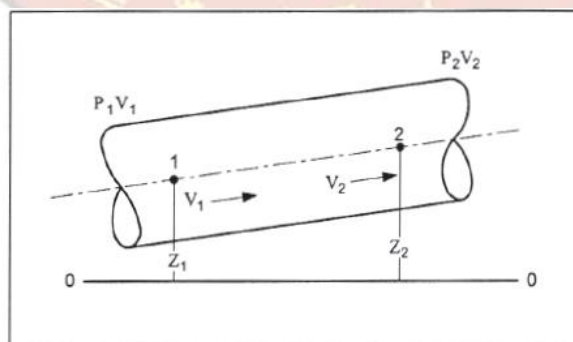
### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายกฎการทรงพลังงานได้ถูกต้อง
- 4.2. อธิบายคำจำกัดความพลังงานในของไหลได้ถูกต้อง
- 4.3. อธิบายแรงที่เกิดจากของไหลได้ถูกต้อง
- 4.4. อธิบายการไหลของของไหลในช่องทางเปิดได้ถูกต้อง
- 4.5. คำนวณหาค่าต่าง ๆ ในสมการการไหลสม่ำเสมอได้ถูกต้อง
- 4.6. คำนวณหากำลังงานในของไหลได้ถูกต้อง

### 5. เนื้อหาสาระ

#### กฎพลังงานสำหรับการไหลสม่ำเสมอ (Energy's Law of Steady Flow)

จากกฎการทรงพลังงานที่กล่าวได้ว่า "พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้ แต่ไม่สามารถสร้างขึ้นหรือทำลายได้ พลังงานมีค่าคงที่เสมอ" หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า "พลังงานที่เข้าสู่ระบบเท่ากับพลังงานที่ออกจากระบบ" เป็นพลังงานสำหรับการไหลอย่างสม่ำเสมอของของไหล



#### พลังงานในการไหลของของไหล

พลังงานในการไหลของของไหล แบ่งออกได้เป็น

1. พลังงานจลน์ คือ พลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของของไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งปริมาณของพลังงานจลน์จะขึ้นอยู่กับความเร็ว และขนาดของมวลของของไหลนั้น

ดังนั้น

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

โดย

$$E_k = \text{พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) (N.m, J)}$$

$$m = \text{มวลของของไหล (kg)}$$

$$v = \text{ความเร็วของของไหล (m/s)}$$

2. พลังงานศักย์ คือ พลังงานที่แฝงอยู่ในมวลของของไหลนั้น และความแตกต่างของพลังงานขึ้นอยู่กับมวลและระดับความสูงภายใต้แรงดึงดูดของโลก

ดังนั้น

$$E_p = mgh$$

โดย

$$E_p = \text{พลังงานศักย์ (Potential Energy) (N.m, J)}$$

$$m = \text{มวลของของไหล (kg)}$$

$$g = \text{อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s}^2\text{)}$$

$$h = \text{ความสูงวัดจากระดับอ้างอิงใดๆ ก็ได้ (m)}$$

3. พลังงานหรืองานที่เกิดจากของไหล คือ งานที่กระทำต่อมวลสารของของไหลเมื่อของไหลถูกบังคับให้ไหลผ่านขอบเขต ซึ่งหได้จาก ผลคูณของความดันและปริมาตร

ดังนั้น

$$P.r.E = P.V$$

โดย

$$P.r.E = \text{พลังงานหรืองานที่เกิดจากของไหล (Pressure Energy) (N.m, J)}$$

$$P = \text{ความดันของของไหล (N/m}^2\text{)}$$

$$V = \text{ปริมาตรของของไหล (m}^3\text{)}$$

สมการการไหลสม่ำเสมอ (Equation of Steady Flow)

จากรูป พิจารณาได้ว่า

$$\begin{aligned}
 \text{ที่จุด 1} \quad \text{พลังงานจลน์} &= \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \\
 \text{พลังงานศักย์} &= m_1 \cdot g \cdot z_1 \\
 \text{พลังงานที่เกิดจากความดันของของไหล} &= P_1 V_1 = P_1 \cdot m_{1/\rho} \\
 \text{ดังนั้น} \quad \text{ผลรวมของพลังงานของของที่จุด 1} &= \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + m_1 \cdot g \cdot z_1 + P_1 \cdot m_{1/\rho}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ที่จุด 2} \quad \text{พลังงานจลน์} &= \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \\
 \text{พลังงานศักย์} &= m_2 \cdot g \cdot z_2 \\
 \text{พลังงานที่เกิดจากความดันของของไหล} &= P_2 V_2 = P_2 \cdot m_{2/\rho} \\
 \text{ดังนั้น} \quad \text{ผลรวมของพลังงานของของที่จุด 2} &= \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + m_2 \cdot g \cdot z_2 + P_2 \cdot m_{2/\rho}
 \end{aligned}$$

จากกฎของพลังงาน พลังงานไม่มีการสูญเสียแต่สามารถเปลี่ยนจากพลังงานรูปหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งได้ เพราะฉะนั้นได้ว่า

ผลบวกของพลังงานของของไหลที่จุด 1 = ผลบวกของพลังงานของของไหลที่จุด 2

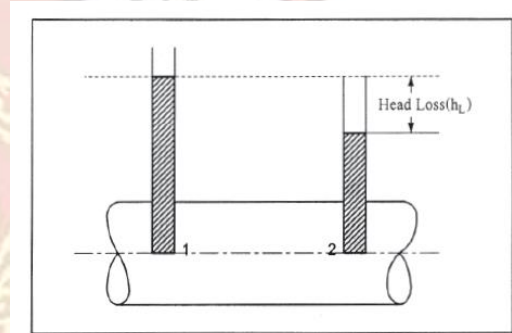
$$\begin{aligned}
 \text{โดย} \quad \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + m_1 \cdot g \cdot z_1 + P_1 \cdot m_{1/\rho} &= \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + m_2 \cdot g \cdot z_2 + P_2 \cdot m_{2/\rho} \\
 \frac{m_1}{\gamma} &= \frac{m_2}{\rho \cdot g} \\
 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + \frac{P_1}{\gamma} &= \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \frac{P_2}{\gamma}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

สมการที่ 8.4 และ 8.5 คือ สมการพลังงานเนื่องจากการไหลสม่ำเสมอ หรือเรียกว่าสมการของเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation) โดยเป็นเกียรติแก่ นายเดนิส เบร์นูลลี ผู้คิดค้นสมการนี้

|     |                    |         |                                                                               |
|-----|--------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------|
| โดย | $\frac{V^2}{2g}$   | หมายถึง | พลังงานจลน์ต่อหน่วยน้ำหนักของของไหลเนื่องจากความเร็วของของไหล (Velocity Head) |
|     | $z$                | หมายถึง | พลังงานศักย์ต่อหน่วยน้ำหนักของของไหลเนื่องจากระดับของของไหล (Elevation Head)  |
|     | $\frac{P}{\gamma}$ | หมายถึง | พลังงานความดันต่อหน่วยน้ำหนักของของไหลเนื่องจากระดับของของไหล (Pressure Head) |

สมการการไหลสม่ำเสมอเนื่องจากการเสียดทานภายในท่อ การไหลของของไหลภายในท่อเนื่องจากท่อมีความเสียดทานจะทำให้การไหลของของไหลจากจุด 1 ไปยังจุด 2 จะไม่เท่ากันคือ ที่จุด 2 จะมีความเสียดทานภายในท่อมากกว่าจุด 1



สมการจะได้ว่า

$$\frac{V_1^2}{2g} + z_1 + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + h_L$$

โดยที่จุด 1 พลังงานที่เพิ่มขึ้นได้โดยใช้ปั๊ม (Pump) สมการจะได้ว่า

$$\frac{V_1^2}{2g} + z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + E_P = \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \frac{P_2}{\gamma}$$

กรณีคิดความเสียดทานภายในท่อ (Head) สมการจะได้ว่า

$$\frac{V_1^2}{2g} + z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + E_P = \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + h_L$$

ที่จุด 2 พลังงานที่นำไปใช้ขับเคลื่อนกังหัน (Turbine) สมการจะได้ว่า

$$\frac{V_1^2}{2g} + z_1 + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + E_t$$

กรณีคิดความเสียดทานภายในท่อ (Head Loss) สมการจะได้ว่า

$$\frac{V_1^2}{2g} + z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + E_p = \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + E_t + h_L$$

โดย

$h_L$  = พลังงานที่สูญเสียอยู่ในรูปความสูง (Head Pressure)

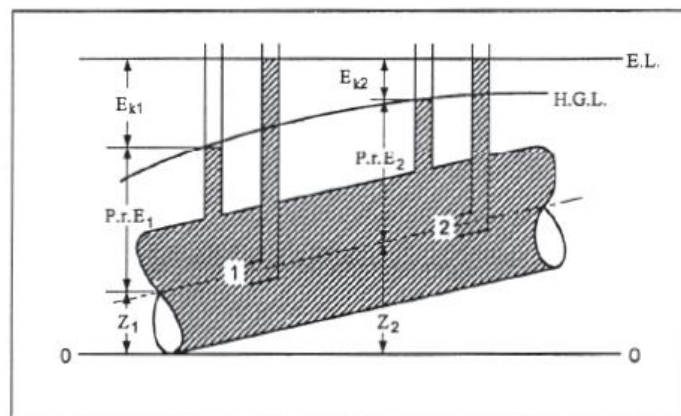
$E_p$  = พลังงานของปั๊ม

$E_t$  = พลังงานของกังหัน

### Energy Line และ Hydraulic Grade Line

Energy Line (E.L.) คือ เส้นกราฟที่แสดงถึงผลรวมของพลังงานจลน์ (Kinetic Energy or Velocity Head) พลังงานหรืองานที่เกิดจากของไหล (Pressure Energy) และพลังงานศักย์ (Potential Energy or Elevation Head)

Hydraulic Grade Line (H.G.L.) คือ เส้นกราฟที่แสดงถึงผลรวมของพลังงานหรืองานที่เกิดจากของไหล (Pressure Energy) และพลังงานศักย์ (Potential Energy or Elevation Head)



### การหากำลังงานในของไหล (Power of Fluid Flow)

กำลังงาน คือ งานที่กระทำกับของไหลต่อหน่วยเวลา

งาน คือ แรงที่กระทำกับของไหล คูณด้วยระยะทางที่แรงนั้นกระทำ

$$W = P \times S$$

$$P = \frac{FxS}{t}$$

โดยกำหนดให้  $S=L$

$$P = \frac{FxL}{t}$$

ให้

$$P = \frac{F}{L^2} \times \frac{LxL^2}{t}$$

$$P = \frac{F}{L^2}$$

$$Q = \frac{LxL^2}{t}$$

ดังนั้น

$$P = p \times Q$$

$$P = \text{กำลังงาน (Power) (Wait)}$$

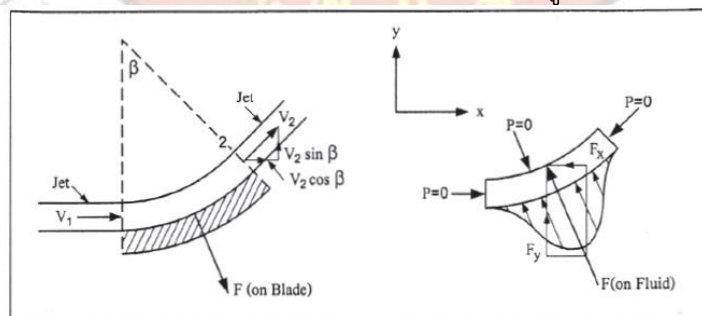
$$P = \text{ความดันของของไหล (N/m}^2\text{)}$$

$$Q = \text{อัตราการไหลของของไหล (m}^3\text{/s)}$$

### แรงที่เกิดจากของไหล

แรงที่เกิดจากของไหลกระทำกับผนังภาชนะ ท่อ และกระทำกับวัตถุที่เคลื่อนที่ แบ่งออกได้

1. แรงที่เกิดจากของไหลกระทำกับส่วนโค้งของผนัง โดยถือว่าแรงและความดันที่เกิดจากน้ำหนักของของไหลกระทำต่อผนังโค้งมีน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับแรงที่กระทำกับผนังโค้งจากรูป

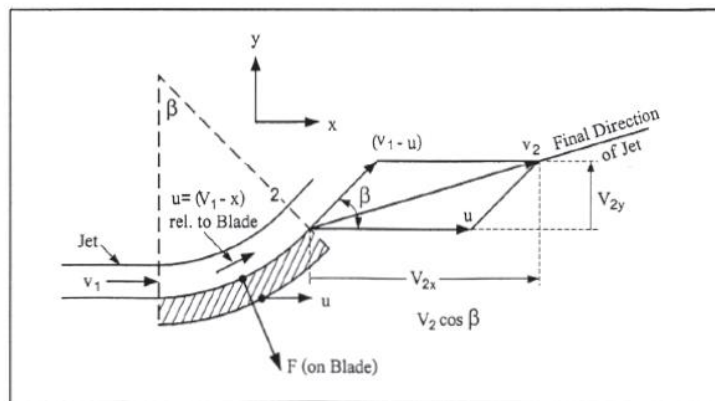


เมื่ออยู่ในสภาวะสมดุลจะได้ว่า

$$\Sigma F_x = F_{Rx} = \rho Q (V_2 \cos \theta_2 - V_1 \cos \theta_1)$$

$$\Sigma F_y = F_{Ry} = \rho Q (V_2 \sin \theta_2 - V_1 \sin \theta_1)$$

2. แรงที่เกิดจากของไหลกระทบกับวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ โดยของไหลออกจากหัวฉีดหรือท่อเข้ากระทบกับวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่น ใต้น้ำออกจากหัวฉีดกระทบกับเทอร์ไบน์ในกรณีนี้ ความเร็วที่นำมาใช้ต้องเป็นความเร็วสัมพัทธ์



ของไหลเคลื่อนที่เข้าหาผนังด้วยความเร็ว  $V_1$  ในแนวราบ มุม  $\theta_1 = 0$  ผนังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $u$  ในทิศทางเดียวกับของไหลถ้าผนังอยู่กับที่ ของไหลหลังจากกระทบผนัง โดยทำมุมกับแนวเดิมเท่ากับมุมของส่วนโค้งของผนัง คือ มุม  $\beta$  แต่ถ้าผนังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $V_2$  จะต้องเป็นความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างความเร็วของผนังและความเร็วของของไหล ดังนั้น สมการ 8.13 และ 8.14 จึงได้เป็น

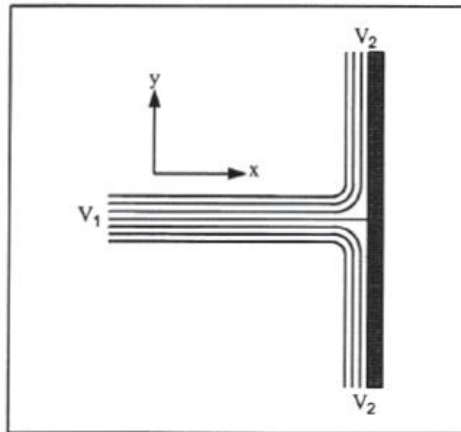
$$\Sigma F_x = F_{Rx} = \rho Q (V_{2x} - V_{1x})$$

$$F_{Rx} = \rho Q (V_1 - u) (1 - \cos \beta)$$

$$\Sigma F_y \Rightarrow F_{Ry} = \rho Q (V_{2y} - V_{1y})$$

$$F_{Ry} = \rho Q (V_1 - u) \sin \beta$$

3. แรงที่เกิดจากของไหลออกจากหัวฉีดกระทบผนัง ของไหลกระทบผนังแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนทิศทางไปโดยรอบด้วยปริมาณที่เท่ากัน



กำหนดให้ลำของของไหลกระทบตั้งฉาก แล้วกระจายไปโดยรอบอย่างสม่ำเสมอ เมื่อพิจารณาถึงสมการ 8.13 และ 8.14 จะได้ว่า

$$\Sigma F_x = F_{Rx} = \rho Q (V_2 \cos \theta_2 - V_1 \cos \theta_1)$$

$$F_{Rx} = \rho Q (V_2 \cos 90^\circ - V_1 \cos 0^\circ)$$

เมื่อ  $V_1$  กระทำตั้งฉากกับผนัง  
ดังนั้น

$$F_{Rx} = \rho Q V_1$$

$$\Sigma F_y \Rightarrow F_{Ry} = \rho Q (V_2 \sin \theta_2 - V_1 \sin \theta_1)$$

$$= F_{Ry} = \rho Q (V_2 \sin 90^\circ - V_1 \sin 0^\circ)$$

เมื่อ  $V_2$  กระทำขนานกับผนัง  
ดังนั้น

$$F_{Ry} = \rho Q V_2$$

เนื่องจากของไหลกระทำในแนวขนานกับผนังกระจายโดยสม่ำเสมอ ดังนั้น  $\Sigma F_{Ry}$  จึงหักล้างกันหมด เหลือแต่แรง  $F_{Rx}$  กระทำกับผนังเท่านั้น จากกฎข้อที่สามของนิวตัน แรงกระทำเท่ากับแรงปฏิกิริยา ดังนั้น แรง  $F_{Rx}$  เท่ากับ  $F_x$  จะได้ว่า

$$F = \rho Q V = \rho A V^2$$

เพราะว่า

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

$$Q = A v$$

ดังนั้น

$$F = \frac{\gamma Q v}{g}$$

หรือ

$$F = \frac{\gamma A V^2}{g}$$

โดย

$F$  = แรงที่เกิดจากการไหล (N)

$\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของของไหล ( $\text{N}/\text{m}^3$ )

$Q$  = อัตราการไหลของของไหล ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$V$  = ความเร็วของของไหล ( $\text{m}/\text{s}$ )

$g$  = อัตราการเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

4. แรงปะทะและแรงยกตัว ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของวัตถุและแรงที่พยายามยกวัตถุให้ลอยขึ้นหรือจมลง

ตัวอย่างเช่น ลมปะทะกับอาคาร แรงยกทำให้เครื่องบินลอยตัว เป็นต้น การหาแรงปะทะและแรงยกตัวใช้

หลักการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม โดยใช้สมการ  $F = \frac{\gamma AV^2}{g}$  ในการหาแรงปะทะและปรยกตัว ต้องมีสัมประสิทธิ์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เนื่องจากรูปร่างของวัตถุความหนืดของของไหล ดังนั้น สมการ 8.17 จึงได้ดังนี้

$$F = \frac{K\gamma AV^2}{g}$$

เพราะว่า

$$K = \frac{C}{2}$$

ดังนั้น

$$F = \frac{C\gamma AV^2}{2g}$$

โดย

$F$  = แรงปะทะ แรงยกตัวหรือแรงกดตัว (N)

$C$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงปะทะ แรงยกตัวหรือแรงกดตัว

$\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของของไหล ( $\text{N}/\text{m}^3$ )

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่ปะทะ ยกตัวหรือกดตัว ( $\text{m}^2$ )

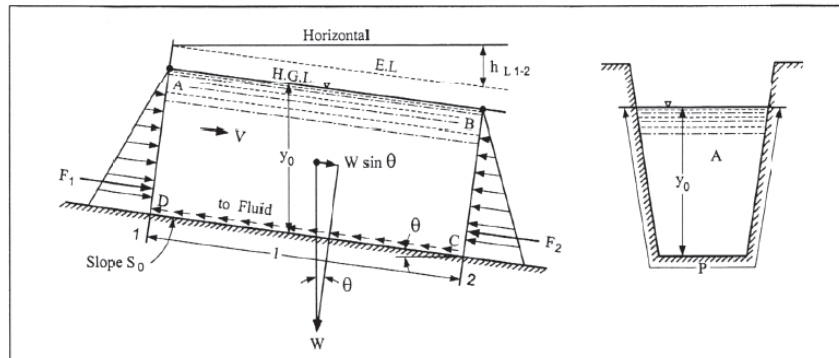
$V$  = ความเร็วของของไหล ( $\text{m}/\text{s}$ )

$g$  = อัตราการเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

### การไหลของของไหลในช่องทางเปิด

การไหลในช่องทางเปิด หมายถึง การไหลของของไหลที่ผิวของของไหลสัมผัสกับบรรยากาศการไหลเกิดจากความลาดชันของช่องทางเปิด เช่น การไหลของน้ำในแม่น้ำ โดยทฤษฎีการไหลในช่องทางเปิดนี้ได้จากการทดลอง แบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. การหาความเร็วในช่องทางเปิด หมายถึง ความเร็วเฉลี่ยของของไหลที่อยู่ในช่องทางเปิด เป็นการไหลแบบสม่ำเสมอ



ดังนั้น  $W \sin \theta - P\tau_0 = 0$

แทนค่า  $W = A\gamma l$  และ  $\sin \theta = h_L / l$  ในสมการ 8.19

$$(A\gamma l) (h_L / l) = P\tau_0$$

$$\tau_0 = \frac{A\gamma h_L}{P l}$$

โดย Hydraulic Radius (R) =  $\frac{A}{P}$

$$S = \frac{h_L}{l}$$

จากรูป พิจารณาของเหลวปริมาตร ABCD มีพื้นที่หน้าตัด A ความยาว  $l$  เป็นการไหลอย่างสม่ำเสมอ อยู่ในสภาวะสมดุล

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_1 + W \sin \theta - F_2 - P\tau_0 = 0$$

โดย  $F_1 - F_2 = 0$  โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม

$$W = A\gamma l$$

$$\sin \theta = h_L / l$$

P = เส้นรอบรูป

$\tau_0$  = ความเค้นเนื่องจากความเสียดทาน

ดังนั้น

$$\tau_0 = \gamma_{RS}$$

จากสมการ

$$\tau_0 = \frac{f\rho v^2}{8}$$

เพราะฉะนั้น

$$\frac{f\rho v^2}{8} = \gamma_{RS}$$

$$v = \sqrt{\frac{8gRS}{f}}$$

กำหนดให้

$$C = \sqrt{8g/f}$$

ดังนั้น

$$v = C\sqrt{RS}$$

โดย

$$\tau_0 = \text{ความเค้นเนื่องจากความเสียดทาน (N/m}^2\text{)}$$

$$\gamma = \text{น้ำหนักจำเพาะ (N/m}^3\text{)}$$

$$v = \text{ความเร็วเฉลี่ยของของไหล (m/s)}$$

$$C = \text{สัมประสิทธิ์ของช่องทางเปิด}$$

$$S = \text{อัตราการเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s}^2\text{)}$$

$$f = \text{สัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย}$$

2. ปริมาณการไหลในช่องทางเปิด โดยใช้สมการการไหลสม่ำเสมอ  $Q=AV$  ดังนั้น

$$Q = AC\sqrt{RS}$$

โดย

$$Q = C\sqrt{RS}$$

$$R = \text{Hydraulic Radius (m)}$$

$$S = \text{ความชัน}$$

## 6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

## แบบฝึกหัดที่ 8 สมการการไหลสม่ำเสมอ

1. กฎการทรงพลังงาน กล่าวไว้ว่าอย่างไร

.....

.....

.....

2. พลังงานในการไหลของของไหล ได้แก่ อะไรบ้าง

.....

.....

.....

3.  $v^2$  หมายถึงอะไร  
 $2g$ 

.....

.....

.....

4.  $\frac{P}{\gamma}$  หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

5.  $h_L$  หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

6. Energy Line คืออะไร

.....

.....

.....

7. กำลังงาน คืออะไร

.....

.....

.....

8. แรงปะทะและแรงยกตัวทำให้เกิดอะไร

.....

.....

.....

9. การไหลในช่องทางเปิด หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

10. ปริมาณการไหลในช่องทางเปิดใช้สมการอะไร

.....

.....

.....



## 7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

## 8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

### เฉลย แบบฝึกหัดที่ 8 สมการการไหลสม่ำเสมอ

#### 1. กฎการทรงพลังงาน กล่าวไว้ว่าอย่างไร

กฎการทรงพลังงาน กล่าวไว้ว่า พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้ แต่ไม่สามารถสร้างขึ้นหรือทำลายได้ พลังงานมีค่าคงที่

#### 2. พลังงานในการไหลของของไหล ได้แก่อะไรบ้าง

พลังงานในการไหลของของไหล ได้แก่

1. พลังงานจลน์
2. พลังงานศักย์

#### 3. $\frac{v^2}{2g}$ หมายถึงอะไร

$\frac{v^2}{2g}$  หมายถึง พลังงานจลน์ต่อหน่วยน้ำหนักของของไหลเนื่องจากความเร็วของของไหล

#### 4. $\frac{P}{\gamma}$ หมายถึงอะไร

$\frac{P}{\gamma}$  หมายถึง พลังงานความดันต่อหน่วยน้ำหนักของของไหลเนื่องจากความดันของของไหล

#### 5. $h_L$ หมายถึงอะไร

$h_L$  หมายถึง พลังงานที่สูญเสียอยู่ในรูปความสูง

#### 6. Energy Line คืออะไร

Energy Line คือ เส้นกราฟที่แสดงถึงผลรวมของพลังงานจลน์ พลังงานหรืองานที่เกิดจากของไหล และพลังงานศักย์

#### 7. กำลังงาน คืออะไร

กำลังงาน คือ งานที่กระทำกับของไหลต่อหน่วยเวลา

#### 8. แรงปะทะและแรงยกตัวทำให้เกิดอะไร

แรงปะทะและแรงยกตัวทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของวัตถุและแรงที่ของวัตถุและแรงที่พยายามยกวัตถุให้ลอยขึ้นหรือจมลง

#### 9. การไหลในช่องทางเปิด หมายถึงอะไร

การไหลในช่องทางเปิด หมายถึง การไหลของของไหลที่ผิวของของไหลสัมผัสกับบรรยากาศ

#### 10. ปริมาณการไหลในช่องทางเปิดใช้สมการอะไร

ปริมาณการไหลในช่องทางเปิดใช้สมการการไหลสม่ำเสมอ  $Q = AV$

ดังนั้นจะได้สูตร  $Q = AC\sqrt{RS}$

|                                                                                   |                                                          |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบงาน ที่ 8                                              | หน่วยที่ ... 8               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 13-14            |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ สมการการไหลสมำเสมอ                  | ทฤษฎี 6 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง สมการการไหลสมำเสมอ                                                     |                                                          |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการไหลสมำเสมอที่มีแรงเสียดทานภายในท่อ

3.2. คำนวณหาค่าปริมาณต่าง ๆ ในสมการการไหลสมำเสมอ

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายกฎการทรงพลังงานได้ถูกต้อง

4.2. อธิบายคำจำกัดความพลังงานในของไหลได้ถูกต้อง

4.3. อธิบายแรงที่เกิดจากของไหลได้ถูกต้อง

4.4. อธิบายการไหลของของไหลในช่องทางเปิดได้ถูกต้อง

4.5. คำนวณหาค่าต่าง ๆ ในสมการการไหลสมำเสมอได้ถูกต้อง

4.6. คำนวณหากำลังงานในของไหลได้ถูกต้อง

### 5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

1. แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ใบความรู้ที่ 1

3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

### 6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

ไม่มี

### 7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายจุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ให้นักเรียนฟัง

2. ครูอธิบายความเป็นมาหรือสาระสำคัญของสมการการไหลสมำเสมอให้นักเรียนฟัง

ขั้นสอน

1. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับกฎพลังงานสำหรับการไหลสมำเสมอ

จากกฎการทรงพลังงานที่กล่าวได้ว่า พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้ แต่ไม่สามารถสร้างขึ้นหรือทำลายได้ พลังงานมีค่าคงที่เสมอ หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า พลังงานที่เข้าสู่ระบบเท่ากับพลังงานที่ออกจากระบบ ดังรูป

2. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับพลังงานในการไหลของของไหล

พลังงานในการไหลของของไหล แบ่งออกได้เป็น 3 พลังงานดังนี้

2.1 พลังงานจลน์ คือ พลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของของไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ปริมาณของพลังงานจลน์จะขึ้นอยู่กับความเร็ว และขนาดของมวลของของไหลนั้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

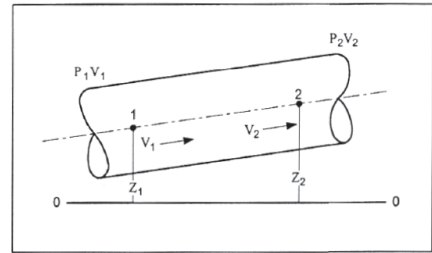
ดังนั้น  $E_k = \frac{1}{2} mv^2$

โดย

$E_k$  = พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) (N.m, J)

$m$  = มวลของของไหล (kg)

$v$  = ความเร็วของของไหล (m/s)



2.2 พลังงานศักย์ คือ พลังงานที่แฝงอยู่ในมวลของของไหลนั้น และความแตกต่างของพลังงานขึ้นอยู่กับมวลและระดับความสูงภายใต้แรงดึงดูดของโลก ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

ดังนั้น

$$E_p = mgh$$

โดย

$E_p$  = พลังงานศักย์ (Potential Energy) (N.m, J)

$m$  = มวลของของไหล (kg)

$g$  = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s<sup>2</sup>)

$h$  = ความสูงวัดจากระดับอ้างอิงใด ๆ ก็ได้ (m)

2.3 พลังงานหรืองานที่เกิดจากของไหล คือ งานที่กระทำต่อมวลสารของของไหลเมื่อของไหลถูกบังคับให้ไหลผ่านขอบเขต ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

ดังนั้น

$$P.r.E = P.V$$

โดย

$P.r.E$  = พลังงานหรืองานที่เกิดจากของไหล (Pressure Energy) (N.m, J)

$P$  = ความดันของของไหล (N/m<sup>2</sup>)

$V$  = ปริมาตรของของไหล (m<sup>3</sup>)

3. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับสมการการไหลสม่ำเสมอ  
สมการการไหลสม่ำเสมอ สามารถคำนวณได้ดังนี้

ที่จุด 1

$$\text{พลังงานจลน์} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2$$

$$\text{พลังงานศักย์} = m_1 g \cdot z_1$$

$$\text{พลังงานที่เกิดจากความดันของของไหล} = P_1 V_1 = P_1 \cdot m_{1/p}$$

$$\text{ดังนั้น ผลรวมของพลังงานของของไหลที่จุด 1} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + m_1 g \cdot z_1 + P_1 \cdot m_{1/p}$$

ที่จุด 2

$$\text{พลังงานจลน์} = \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

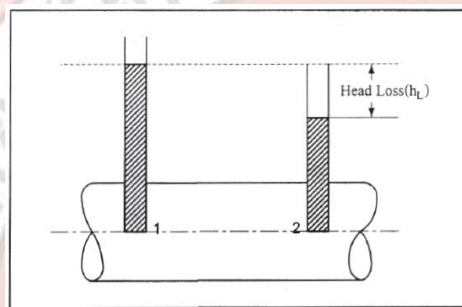
$$\text{พลังงานศักย์} = m_2 g \cdot z_2$$

$$\text{พลังงานที่เกิดจากความดันของของไหล} = P_2 V_2 = P_2 \cdot m_{2/p}$$

$$\text{ดังนั้น ผลรวมของพลังงานของของไหลที่จุด 2} = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + m_2 g \cdot z_2 + P_2 \cdot m_{2/p}$$

4. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับสมการการไหลสม่ำเสมอเนื่องจากการเสียดทานภายในท่อ

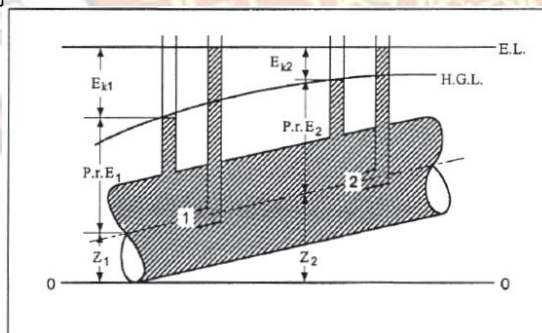
การไหลของของไหลภายในท่อเนื่องจากท่อมีความเสียดทานจะทำให้การไหลของของไหลจากจุด 1 ไปยังจุด 2 จะไม่เท่ากัน คือ ที่จุด 2 จะมีความเสียดทานภายในท่อมกกว่าจุด 1 ดังรูป



5. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับ Energy Line และ Hydraulic Grade Line

Energy Line คือ เส้นกราฟที่แสดงถึงผลรวมของพลังงานจลน์ พลังงานหรืองานที่เกิดจากของไหล และพลังงานศักย์

Hydraulic Grade Line คือ เส้นกราฟที่แสดงถึงผลรวมของพลังงานหรืองานที่เกิดจากของไหล และพลังงานศักย์ ดังรูป



6. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการหากำลังงานในของไหล

กำลังงาน คือ งานที่กระทำกับของของไหลต่อหน่วยเวลา

งาน คือ แรงกระทำกับของไหล คูณด้วยระยะทางที่แรงนั้นกระทำ

ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$P = \frac{F \times S}{t}$$

หรือ

$$P = p \times Q$$

7. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับแรงที่เกิดจากของไหล  
แรงที่เกิดจากของไหลกระทำกับผนังภาชนะ ท่อ และกระทำกับวัตถุที่เคลื่อนที่

8. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการไหลของของไหลในช่องทางเปิด

การไหลในช่องทางเปิด หมายถึง การไหลของของไหลที่ผิวของของไหลสัมผัสกับบรรยากาศ การไหลเกิดจากความลาดชันของช่องทางเปิด

#### ขั้นสรุป

1. ครูและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาที่เรียน
2. ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด

#### 8. สรุปและวิจารณ์ผล

กฎการทรงพลังงานกล่าวไว้ว่า พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้แต่ไม่สามารถสร้างขึ้นหรือทำลายได้ พลังงานมีค่าคงที่เสมอ จากกฎการทรงพลังงานดังกล่าว นำมาวิเคราะห์หาพลังงานสำหรับการไหลของของไหล สมการไหลสม่ำเสมอ และกำลังงานในของไหล

#### 9. การประเมินผล

1. เกณฑ์ผ่านการสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
2. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้ มีเกณฑ์ผ่าน 50%

#### 10. เอกสารอ้างอิง/เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

**แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 1**  
**รายวิชา รายวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล รหัสวิชา 30101-2001**  
**เรื่อง สมการการไหลสม่ำเสมอ**

ชื่อ.....สกุล.....ระดับชั้น.....สาขาวิชา.....กลุ่ม.....

| ลำดับที่ | หัวข้อการประเมิน                                        | ระดับคะแนน |   |   |   |   | หมายเหตุ |
|----------|---------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|----------|
|          |                                                         | 5          | 4 | 3 | 2 | 1 |          |
| 1        | ด้านคุณธรรม จริยธรรม<br>เข้าเรียนตรงต่อเวลา             |            |   |   |   |   |          |
| 2        | มีวินัย และแต่งกายถูกระเบียบ                            |            |   |   |   |   |          |
| 3        | มีความมุ่งมั่น และตั้งใจปฏิบัติงาน                      |            |   |   |   |   |          |
| 4        | มีการทำงานร่วมกับผู้อื่น หรือเป็นทีม                    |            |   |   |   |   |          |
| 5        | ส่งงานในเวลาที่กำหนด                                    |            |   |   |   |   |          |
| 6        | ด้านทักษะการปฏิบัติงาน<br>การปฏิบัติงานเป็นไปตามขั้นตอน |            |   |   |   |   |          |
| 7        | แบบงานมีความประณีต และสวยงาม                            |            |   |   |   |   |          |
| 8        | แบบงานถูกต้องตามหลักวิชาการ                             |            |   |   |   |   |          |
| 9        | ปฏิบัติงานเสร็จสิ้นตามเวลาที่กำหนด                      |            |   |   |   |   |          |
| 10       | มีสุขภาพดีของความปลอดภัย                                |            |   |   |   |   |          |
|          | <b>รวมคะแนน</b>                                         |            |   |   |   |   |          |

สรุปผลการประเมิน ผ่าน ไม่ผ่าน คะแนนที่ได้.....

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน  
 (.....)  
 ...../...../.....

**แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล**  
**หน่วยที่ 1 เรื่อง สมการการไหลสม่ำเสมอ**

**คำชี้แจง** ให้ทำเครื่องหมาย ✓ และหากผู้เรียนมีพฤติกรรมนั้น ลงในช่องรายการ

| ที่ | ชื่อ-<br>นามสกุล | การแสดงพฤติกรรมของผู้เรียนในระหว่างเรียน |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   | รวม<br>คะแนน |                           |   |   |   |
|-----|------------------|------------------------------------------|---|---|---|------------------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|------------------------|---|---|---|--------------|---------------------------|---|---|---|
|     |                  | การสนใจเรียน                             |   |   |   | การแสดง<br>ความคิดเห็น |   |   |   | การตอบ<br>คำถาม |   |   |   | การยอมรับฟัง<br>คนอื่น |   |   |   |              | ทำงานตามที่<br>ครูมอบหมาย |   |   |   |
|     |                  | 4                                        | 3 | 2 | 1 | 4                      | 3 | 2 | 1 | 4               | 3 | 2 | 1 | 4                      | 3 | 2 | 1 |              | 4                         | 3 | 2 | 1 |
| 1   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 2   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 3   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 4   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 5   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 6   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 7   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 8   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 9   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 10  |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |

**เกณฑ์การวัดผล** ให้คะแนนระดับคุณภาพของแต่ละพฤติกรรมดังนี้

1. ดีมาก = 4 สนใจฟัง ไม่หลับ ไม่พูดคุยในชั้น มีคำถาม ตอบคำถามถูก ทำงานส่งตามเวลาอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 90 - 100%
2. ดี = 3 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 70 - 89%
3. ปานกลาง = 2 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 50 - 69 %
4. ปรับปรุง = 1 เข้าชั้นเรียน แต่การแสดงออกน้อยมาก ส่งงานไม่ครบ ส่งงานไม่ตรงเวลา

**เกณฑ์การประเมิน**

คะแนนรวมตามแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

ลงชื่อ .....ครูผู้สอนสังเกต  
(.....)

**วิทยาลัยการอาชีพบางสะพาน**  
**แบบประเมินด้านคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์**

สาขาวิชา.....สาขางาน.....ระดับชั้น.....กลุ่ม.....

| ลำดับ<br>ที่ | ชื่อ-สกุล | รายการประเมิน    |               |           |             |         |           |         |           |       |            | คะแนนรวม | คะแนนเฉลี่ย |
|--------------|-----------|------------------|---------------|-----------|-------------|---------|-----------|---------|-----------|-------|------------|----------|-------------|
|              |           | ยึดมั่นในสถาบันฯ | ละเว้นอบายมุข | ความเมตตา | ความสามัคคี | จิตอาสา | ซื่อสัตย์ | ประหยัด | ซื่อสัตย์ | สุภาพ | ตรงต่อเวลา |          |             |
| 1            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 2            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 3            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 4            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 5            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 6            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 7            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 8            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 9            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 10           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 11           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 12           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 13           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 14           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 15           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 16           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 17           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 18           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 19           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 20           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |

หมายเหตุ

- เกณฑ์การประเมินคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์

- 3 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนแสดงประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอและเป็นผู้ทำได้  
 2 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอ  
 1 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติไม่สม่ำเสมอ  
 0 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนไม่ประพฤติปฏิบัติ

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | แผนการจัดการเรียนรู้                                      | หน่วยที่ ... 9               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 15               |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง        | ทฤษฎี 3 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง/งาน การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง                                      |                                                           |                              |

# 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

## 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

## 3. สมรรถนะประจำหน่วย

- 3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการไหลในท่อโค้ง
- 3.2. คำนวณการสูญเสียของการไหล

## 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายการไหลของของไหลในท่อได้ถูกต้อง
- 4.2. อธิบายความหมายของเรย์โนลด์นัมเบอร์ได้ถูกต้อง
- 4.3. คำนวณหาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ได้ถูกต้อง
- 4.4. คำนวณหาค่าการสูญเสียหลักได้ถูกต้อง
- 4.5. คำนวณหาค่าการสูญเสียรองได้ถูกต้อง

## 5. สารการเรียนรู้

- 5.1. การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง
- 5.2. เรย์โนลด์นัมเบอร์
- 5.3. การสูญเสียหลัก
- 5.4. การสูญเสียรอง

## 6. กิจกรรมการเรียนรู้

### 6.1 การนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายจุดประสงค์การเรียนรู้ สารการเรียนรู้ให้นักเรียนฟัง
2. ครูอธิบายความเป็นมาหรือสาระสำคัญของการไหลในท่อและการไหลในท่อโค้งให้นักเรียนฟัง

### 6.2 การเรียนรู้

- 6.2.1 หนังสือเรียน วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ของสำนักพิมพ์เอ็มแพนซ์
- 6.2.2 สื่ออิเล็กทรอนิกส์ และ Power Point
- 6.2.3 กิจกรรมการเรียนการสอน
- 6.2.4 รูปภาพประกอบ
- 6.2.5 แบบหุ่นจำลอง

### 6.3 การสรุป

- 6.3.1 สรุปบทเรียนส่วนที่เป็นสาระสำคัญ

#### 6.4 การวัดและประเมินผล

- 6.4.1. สังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
- 6.4.2. กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้
- 6.4.3. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้
- 6.4.4. แบบประเมินผลการปฏิบัติงานและแบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม

#### 7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

- 7.1. Power Point เรื่อง การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง

#### 8. หลักฐานการเรียนรู้

##### 8.1 หลักฐานความรู้

1. เอกสารรับรองจากการทดสอบความรู้

##### 8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน

1. แบบบันทึกความคิดเห็นของครูผู้สอน
2. แบบรับรองการปฏิบัติงานจากสถานประกอบการ
3. แบบบันทึกรายการจากการสังเกตจากการปฏิบัติงาน

#### 9. การวัดและประเมินผล

##### 9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน

1. วางแผนและเตรียมความพร้อมในการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง
2. สรุปผลการวางแผนช่องทางในการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง

##### 9.2 วิธีการประเมิน

1. พิจารณาหลักฐานความรู้
2. พิจารณาหลักฐานการปฏิบัติงาน

##### 9.3 เครื่องมือประเมิน

1. แบบทดสอบก่อนเรียน
2. ใบความรู้ที่ 1
3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

## 10. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

### 10.1 ข้อสรุปหลังการจัดการเรียนรู้

---

---

---

### 10.2 ปัญหาที่พบ

---

---

---

### 10.3 แนวทางแก้ปัญหา

---

---

---



|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบความรู้ ที่ 1                                           | หน่วยที่ ... 9               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 15               |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง        | ทฤษฎี 3 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง                                          |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการไหลในท่อโค้ง

3.2. คำนวณการสูญเสียของการไหล

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายการไหลของของไหลในท่อได้ถูกต้อง

4.2. อธิบายความหมายของเรย์โนลด์นัมเบอร์ได้ถูกต้อง

4.3. คำนวณหาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ได้ถูกต้อง

4.4. คำนวณหาค่าการสูญเสียหลักได้ถูกต้อง

4.5. คำนวณหาค่าการสูญเสียรองได้ถูกต้อง

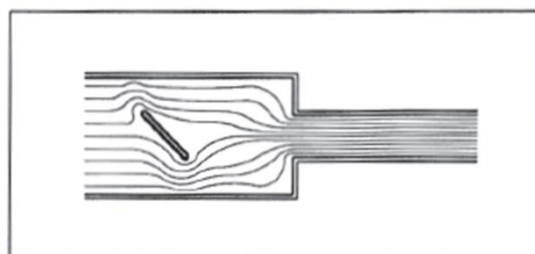
### 5. เนื้อหาสาระ

#### การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

#### 1. การไหลแบบแลมินาร์ (Laminar Flow)

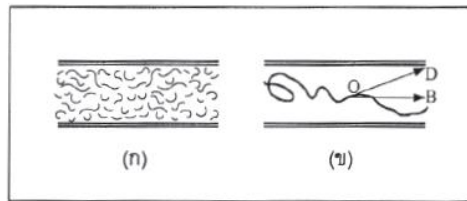
เป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ขนานกันไปคล้าย ๆ กับการไหลเป็นชั้น ๆ ความเร็วของของไหลในชั้นที่อยู่ใกล้ ๆ กันมีค่าไม่เท่ากัน แต่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อย การไหลแลมินาร์เป็นไปตามกฎของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Angular Deformation ซึ่งก็คือ ผลคูณของความหนืดของของไหลกับ Velocity Gradient นั่นคือ  $\tau = \mu (dv/dy)$  ความหนืดของของไหลเป็นสิ่งที่ส่งผลทำให้การไหลเปลี่ยนไปเป็นเทอร์บิวเลนต์ได้



#### 2. การไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ (Turbulent Flow)

เป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปอย่างไม่เป็นระเบียบ ความเร็วของอนุภาคของของไหลแตกต่างกันทั้งขนาดและทิศทางความเค้นเฉือนสำหรับการไหลเทอร์บิวเลนต์สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$\tau = (\mu + \eta) \frac{dv}{dy}$$



### เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number เรียกว่า $N_R$ )

Reynold Number ( $N_R$  หรือ Re) เป็นตัวเลขที่ไม่มีหน่วย หาได้จากอัตราส่วนของแรงเนื่องจากความเฉื่อยและแรงเนื่องจากความหนืดของของไหล Reynold Number นี้เป็นตัวเลขสำคัญในการที่จะบอกถึงลักษณะการไหลของของไหลว่าเป็นแบบใด การหาפקเตอร์ของความเสียดทานหาได้จากการเข้าสู่สูตรสำหรับท่อกลมและไม่กลม ผลออกมาปรากฏว่า  $N_R$  น้อยกว่า 2,000 การไหลของของไหลเป็นแบบราบเรียบ ถ้า  $N_R$  มากกว่า 2,000 มาก ๆ การไหลของของไหลเป็นแบบปั่นป่วน

สำหรับท่อกลม

$$N_R = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{D \cdot v}{\sqrt{\mu}}$$

สำหรับท่อไม่กลม

$$N_R = \frac{4R \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{4R \cdot v}{\sqrt{\mu}}$$

$$N_R = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{D \cdot v}{\sqrt{\mu}}$$

$$N_R = \frac{4R \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{4R \cdot v}{\sqrt{\mu}}$$

โดย

$N_R$  = เรย์โนลด์นัมเบอร์ ไม่มีหน่วย

$D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (m)

$v$  = ความเร็วเฉลี่ยในท่อ (m/s)

$\rho$  = ความหนาแน่นของของไหลในท่อ ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$  = ความหนืดของของไหลในท่อ (Pa.s หรือ  $\text{N.s/m}^2$ )

$\sqrt{\mu}$  = ความหนืดคิเนแมติกส์ของของไหลในท่อ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$$N_R = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{D \cdot v}{\sqrt{\mu}}$$

$$N_R = \frac{4R \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{4R \cdot v}{\sqrt{\mu}}$$

(ต่อ) โดย

R = รัศมีไฮดรอลิก (m)

A = พื้นที่หน้าตัดที่ของไหลไหลผ่าน (m<sup>2</sup>)

P = ความยาวของเส้นรอบหน้าตัดที่ของไหลผ่านบริเวณที่ของไหลสัมผัสกับผิวท่อ (m)

### การสูญเสียหลัก (Major Loss)

การสูญเสียหลักนี้เกิดจากความเสียดทานของผิวท่อ ขนาดของท่อ ความยาวของท่อ และความเร็วในการไหล ถ้าของไหลไหลในผิวท่อที่ขรุขระ ความยาวของท่อมก และความเร็วในการไหลสูง การสูญเสียกำลังงานจะสูงตามไปด้วย แต่การสูญเสียกำลังงานจะลดลงถ้าท่อมีขนาดโตขึ้น

ลำดับขั้นตอนในการหาค่า  $f$

1. ค่า  $N_R < 2,000$

$$\text{หาค่า } f = \frac{64}{N_R}$$

2. ถ้า  $N_R > 2,000$

หาค่า  $f$  ได้ดังนี้

- หาค่า  $\epsilon$  จากตาราง
- ขนาด  $\phi$  ของท่อ
- หา  $\frac{\epsilon}{D}$
- นำค่า  $N_R$  และ  $\frac{\epsilon}{D}$  ไปเปิดตาราง

ตัวประกอบความเสียดทานเพื่อหาค่า  $f$

| ท่อประเภทต่าง ๆ                             | mm          |
|---------------------------------------------|-------------|
| ท่อจากการรีด ท่อทองเหลือง ท่อตีบุก หลอดแก้ว |             |
| ท่อคอนกรีตที่หล่อโดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง  | 0.0015      |
| ท่อเหล็กกล้าหรือท่อเหล็กเหนียวในท้องตลาด    | 0.046       |
| ท่อเหล็กกล้าที่ขึ้นรูปโดยการเชื่อม          | 0.046       |
| ท่อเหล็กหล่อเคลือบด้วยยางมะตอย              | 0.120       |
| ท่อเหล็กเคลือบสังกะสี                       | 0.150       |
| ท่อเหล็กหล่อ ค่าเฉลี่ย                      | 0.250       |
| ท่อไม้                                      | 0.180–0.900 |
| ท่อคอนกรีต                                  | 0.300–3.000 |
| Riveted Steel                               | 0.900–9.000 |

### การสูญเสียรอง (Minor Loss)

การสูญเสียกำลังงานเนื่องจากการไหลของของไหลในท่อเมื่อของไหลผ่านข้อต่อ ข้องอ ลิ้น ฯลฯ ปกติถ้าท่อมีความยาวมาก เช่น ในท่อน้ำประปา ค่าของการสูญเสียรองนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ การสูญเสียหลักจะมีค่าน้อย แต่ถ้าท่อที่มีความยาวน้อยและมีการหักงอ หรือท่อมีการลดขนาดหลายแห่ง เช่น ในท่อลมของระบบปรับอากาศ ค่าของการสูญเสียรองจะมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ การสูญเสียหลัก

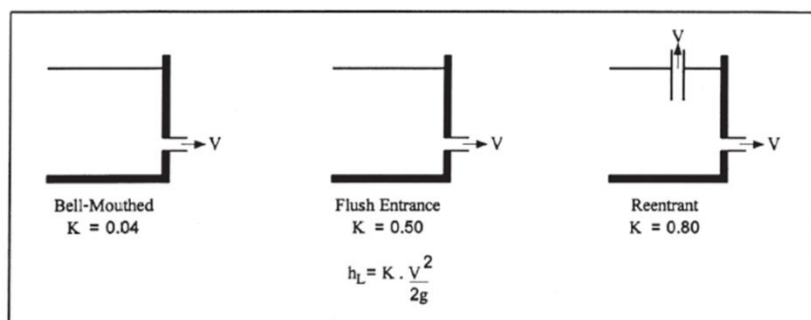
ลำดับขั้นการหา Minor Loss

โดย

$$h_L = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

โดยค่า K ขึ้นอยู่กับตัวประกอบต่างๆ ดังนี้

### 1. การสูญเสียเนื่องจากการไหลจากถังเข้าสู่ท่อ

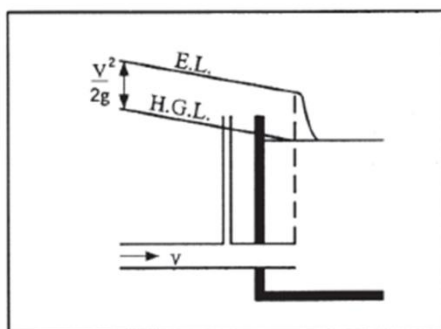


โดย

$$h_L = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

### 2. การสูญเสียเนื่องจากการไหลจากท่อเข้าสู่ถัง (K=1)

$$h_L = \frac{v^2}{2g}$$



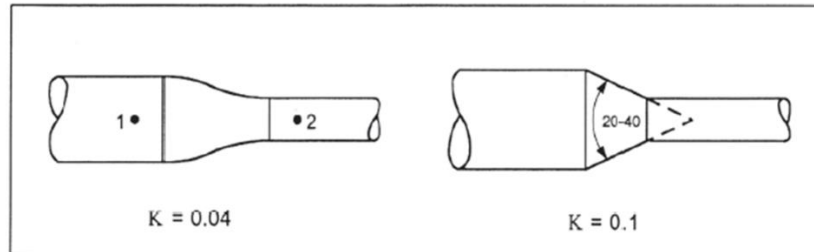
### 3. การสูญเสียเนื่องจากท่อลดขนาดทันที ต้องทราบอัตราส่วนของ $D_2 / D_1$

|           |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| $D_2/D_1$ | 0.0  | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  |
| K         | 0.50 | 0.45 | 0.42 | 0.39 | 0.36 | 0.33 |
| $D_2/D_1$ | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 1.0  |      |
| K         | 0.28 | 0.22 | 0.15 | 0.06 | 0.00 |      |

$$h_L = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

4. การสูญเสียเนื่องจากท่อค่อยๆ ลดขนาด

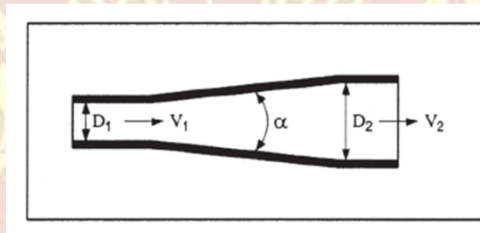
$$h_L = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$



5. การสูญเสียเนื่องจากท่อเพิ่มขนาดทันที (K=1)

$$h_L = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

6. การสูญเสียเนื่องจากท่อค่อยๆ เพิ่มขนาด ค่า K ขึ้นอยู่กับมุม  $\theta$  :  $h_L = K \cdot \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$



7. การสูญเสียเนื่องจากข้อต่อและ Value ค่า K ขึ้นอยู่กับชนิดข้อต่อและชนิดของ Value

$$h_L = K \cdot \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

| ชนิดของข้อต่อ                             | K    | L/D |
|-------------------------------------------|------|-----|
| Globe Valve เปิดเต็มที่                   | 10   | 350 |
| Angle Valve เปิดเต็มที่                   | 5    | 175 |
| ข้อโค้งกลับ (Close Return Bend)           | 2.2  | 75  |
| สามทาง (Tee)                              | 1.8  | 67  |
| ข้องอ 90° (Short-Radius Elbow)            | 0.9  | 32  |
| ข้อโค้งรัศมีปานกลาง (Medium-Radius Elbow) | 0.75 | 27  |
| ข้อโค้งรัศมียาว (Long-Radius Elbow)       | 0.60 | 20  |
| ข้องอ 45° (45° Elbow)                     | 0.42 | 15  |
| Cate Valve เปิดเต็มที่                    | 0.19 | 7   |

## 6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

### แบบฝึกหัดที่ 9 การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง

1. สิ่งที่มีผลทำให้การไหลเปลี่ยนแปลงจากการไหลแบบราบเรียบเป็นการไหลแบบปั่นป่วนได้แก่อะไร

.....

.....

.....

2. การไหลแบบปั่นป่วน เป็นการไหลอย่างไร

.....

.....

.....

3. เรย์โนลด์นัมเบอร์ เป็นค่าที่บอกถึงอะไร

.....

.....

.....

4. การสูญเสียหลักเกิดขึ้นเนื่องจากอะไร

.....

.....

.....

5. การสูญเสียรองเกิดขึ้นเนื่องจากอะไร

.....

.....

.....

6. การไหลแบบแลมินาร์เป็นการไหลอย่างไร

.....

.....

.....

7. สูตร  $\tau = \mu(dv/dy)$  เป็นการไหลแบบใด

.....

.....

.....

8. สูตร  $\tau = \frac{(\mu + \eta)dv}{Dy}$  เป็นการไหลแบบใด

---

---

---

9.  $N_R$  น้อยกว่า 2000 เป็นการไหลแบบใด

---

---

---

10. ค่า  $N_R$  สำหรับท่อไม่กลม ได้แก่อะไร

---

---

---

11. ค่า  $N_R$  สำหรับท่อกลม ได้แก่อะไร

---

---

---

12.  $N_R$  มากกว่า 2000 เป็นการไหลแบบใด

---

---

---

13. ค่า  $N_R$  มีหน่วยเป็นอะไร

---

---

---

14. น้ำมันชนิดหนึ่ง มีความถ่วงจำเพาะ 0.75 มีความหนืด  $6 \times 10^{-4}$  Ns/m<sup>2</sup> ไหลผ่านท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm ด้วยความเร็ว 10 m/s จงหาเรย์โนลด์นัมเบอร์

---

---

---

15. ค่า  $N_R$  จากการคำนวณเท่ากับ  $2 \times 10^5$  เป็นท่อเหล็กเคลือบสังกะสี มีค่าความขรุขระ 0.150 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 mm โดยท่อมีความยาว 20 m ความเร็วของของไหลในท่อ 5 m/s จงหาความเสียดทาน และค่าการสูญเสียหลัก

.....

.....

.....



## 7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

## 8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

### เฉลย แบบฝึกหัดที่ 9 การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง

1. สิ่งที่มีผลทำให้การไหลเปลี่ยนแปลงจากการไหลแบบราบเรียบเป็นการไหลแบบปั่นป่วนได้แก่อะไร

สิ่งที่มีผลทำให้การไหลเปลี่ยนแปลงจากการไหลแบบราบเรียบเป็นการไหลแบบปั่นป่วนได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด ความเร็วของของไหล และขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง

2. การไหลแบบปั่นป่วน เป็นการไหลอย่างไร

การไหลแบบปั่นป่วน เป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปอย่างไม่เป็นระเบียบ ความเร็วของอนุภาคของของไหลแตกต่างกันทั้งขนาดและทิศทางความเค้นเฉือนสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน

3. เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ เป็นค่าที่บอกถึงอะไร

เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ เป็นค่าที่บอกถึงลักษณะการไหลของของไหลว่าเป็นแบบใด การหาפקเตอร์ของความเสียดทาน

4. การสูญเสียหลักเกิดขึ้นเนื่องจากอะไร

การสูญเสียหลักเกิดขึ้นเนื่องจากความเสียดทานของผิวท่อ ขนาดของท่อ ความยาวของท่อ และความเร็วในการไหล

5. การสูญเสียรองเกิดขึ้นเนื่องจากอะไร

การสูญเสียรองเกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของของไหลในท่อเมื่อของไหลผ่านข้อต่อ ข้องอ และลิ้น

6. การไหลแบบแลมินาร์เป็นการไหลอย่างไร

การไหลแบบแลมินาร์เป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงขนานกันไปคล้าย ๆ กับการไหลเป็นชั้น ๆ ความเร็วของของไหลในชั้นที่อยู่ใกล้ ๆ กันมีค่าไม่เท่ากัน แต่แตกต่างกันเล็กน้อย

7. สูตร  $\tau = \mu(dv/dy)$  เป็นการไหลแบบใด

สูตร  $\tau = \mu(dv/dy)$  เป็นการไหลแบบแลมินาร์

8. สูตร  $\tau = (\mu + \eta) \frac{dv}{Dy}$  เป็นการไหลแบบใด

สูตร  $\tau = (\mu + \eta) \frac{dv}{Dy}$  เป็นการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์

9.  $N_R$  น้อยกว่า 2000 เป็นการไหลแบบใด

$N_R$  น้อยกว่า 2000 เป็นการไหลแบบราบเรียบ

10. ค่า  $N_R$  สำหรับท่อไม่กลม ได้แก่

$$\text{ค่า } N_R \text{ สำหรับท่อไม่กลม ได้แก่ } \frac{4R \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{4R \cdot v}{\sqrt{\dots}}$$

11. ค่า  $N_R$  สำหรับท่อกลม ได้แก่

$$\text{ค่า } N_R \text{ สำหรับท่อกลม ได้แก่ } \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{D \cdot v}{\sqrt{\dots}}$$

12.  $N_R$  มากกว่า 2000 เป็นการไหลแบบใด

$N_R$  มากกว่า 2000 เป็นการไหลแบบปั่นป่วน

13. ค่า  $N_R$  มีหน่วยเป็นอะไร

ค่า  $N_R$  ไม่มีหน่วย

14. น้ำมันชนิดหนึ่ง มีความถ่วงจำเพาะ 0.75 มีความหนืด  $6 \times 10^{-4} \text{ Ns/m}^2$  ไหลผ่านท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm ด้วยความเร็ว 10 m/s จงหาเรย์โนลด์นัมเบอร์

วิธีทำ  $N_R = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$

$$= \frac{10 \times 10^{-3} \text{ m} \times 10 \text{ m/s} \times 0.75 \times 1000 \text{ kg/m}^3}{6 \times 10^{-4} \text{ Ns/m}^2}$$

$$= \frac{0.01 \text{ m} \times 10 \text{ m/s} \times 750 \text{ kg/m}^3}{0.0006}$$

$$= 1.25 \times 10^5$$

ตอบ เรย์โนลด์นัมเบอร์เท่ากับ  $1.25 \times 10^5$

15. ค่า  $N_R$  จากการคำนวณเท่ากับ  $2 \times 10^5$  เป็นท่อเหล็กเคลือบสังกะสี มีค่าความขรุขระ 0.150 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 mm โดยท่อมีความยาว 20 m ความเร็วของของไหลในท่อ 5 m/s จงหาความเสียดทาน และการสูญเสียหลัก

วิธีทำ  $N_R > 2000$  หาค่า  $f$  ได้ดังนี้

หาค่า  $\epsilon$  จากตาราง = 0.150 D = 15 mm

$$\text{หาค่า } \frac{\epsilon}{D} = \frac{0.150}{15} = 0.01$$

นำไป Plot จุดจะได้  $f = 0.00004$

แทนค่าได้  $h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$

$$= 0.00004 \times \frac{20}{15} \times \frac{5^2}{2 \times 9.81}$$

$$= 0.00004 \times 1.33 \times 0.25$$

$$= 1.33 \times 10^{-5}$$

ตอบ หาค่าความเสียดทานได้ 0.00004 และค่าการสูญเสียหลักได้  $1.33 \times 10^{-5}$

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบงาน ที่ 9                                               | หน่วยที่ ... 9               |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 15               |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง        | ทฤษฎี 3 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง                                          |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการไหลในท่อโค้ง

3.2. คำนวณการสูญเสียของการไหล

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1. อธิบายการไหลของของไหลในท่อได้ถูกต้อง

4.2. อธิบายความหมายของเรย์โนลด์นัมเบอร์ได้ถูกต้อง

4.3. คำนวณหาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ได้ถูกต้อง

4.4. คำนวณหาค่าการสูญเสียหลักได้ถูกต้อง

4.5. คำนวณหาค่าการสูญเสียรองได้ถูกต้อง

### 5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

1. แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ใบความรู้ที่ 1

3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

### 6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

ไม่มี

### 7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายจุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ให้นักเรียนฟัง

2. ครูอธิบายความเป็นมาหรือสาระสำคัญของการไหลในท่อและการไหลในท่อโค้งให้นักเรียนฟัง

ขั้นสอน

1. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง

การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

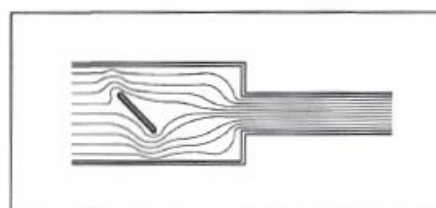
1.1 การไหลแบบแลมินาร์ เป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ขนานกันไปคล้ายๆ

กับการไหลเป็นชั้น ๆ ความเร็วของของไหลในชั้นที่อยู่ใกล้ ๆ กันมีค่า

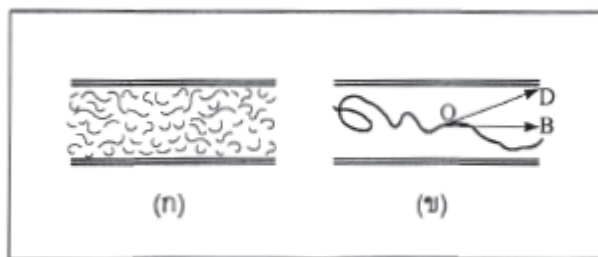
ไม่เท่ากัน แต่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อย การไหลแลมินาร์เป็นไปตามกฎ

ของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน กับอัตราการเปลี่ยนแปลง

ของ Angular Deformation ดังรูป



1.2 การไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ เป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปอย่างไม่เป็นระเบียบ ความเร็วของอนุภาคของของไหลแตกต่างกันทั้งขนาดและทิศทางความเค้นเฉือนสำหรับการไหลเทอร์บิวเลนต์ ดังรูป



2. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับเรย์โนลด์นัมเบอร์

เรย์โนลด์นัมเบอร์เป็นตัวเลขที่ไม่มีหน่วย หาได้จากอัตราส่วนของแรง เนื่องจากความเฉื่อยและแรงเนื่องจากความหนืดของของไหล

3. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการสูญเสียหลัก

การสูญเสียหลักเกิดจากความเสียดทานของผิวท่อ ขนาดของท่อ ความยาวของท่อ และความเร็วในการไหลสูง การสูญเสียกำลังงานจะสูงตามไปด้วย แต่การสูญเสียกำลังงานจะลดลงถ้าท่อมีขนาดโตขึ้น

4. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการสูญเสียรอง

การสูญเสียกำลังงานเนื่องจากการไหลของของไหลในท่อเมื่อของไหลผ่านข้อต่อ ข้องอ ลิ้น เป็นต้น ปกติถ้าท่อมีความยาวมาก ค่าของการสูญเสียรองนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ การสูญเสียหลักจะมีค่าน้อย

**ขั้นสรุป**

1. ครูและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาที่เรียน
2. ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด

## 8. สรุปและวิจารณ์ผล

การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง ของไหลที่ไหลในท่อมักมีการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน การไหลในท่อจะมีค่าความเสียดทานภายในท่อทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานภายในท่อ ซึ่งมีอยู่สองลักษณะ คือ การสูญเสียหลัก เกิดจากความเสียดทานของผิวท่อ ขนาดท่อ ความยาวของท่อ และความเร็วในการไหล และการสูญเสียรอง เกิดจากของไหลในท่อผ่านข้อต่อ ข้องอ และลิ้น ดังนั้น จึงมีการคำนวณหาค่าความสูญเสียกำลังงานจากการสูญเสียหลักและการสูญเสียรอง เพื่อหาค่ากำลังงานที่แท้จริงในการทำงาน

## 9. การประเมินผล

1. เกณฑ์ผ่านการสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
2. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้ มีเกณฑ์ผ่าน 50%

## 10. เอกสารอ้างอิง/เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

**แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 1**  
**รายวิชา รายวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล รหัสวิชา 30101-2001**  
**เรื่อง การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง**

ชื่อ.....สกุล.....ระดับชั้น ..... สาขาวิชา.....กลุ่ม.....

| ลำดับที่ | หัวข้อการประเมิน                                        | ระดับคะแนน |   |   |   |   | หมายเหตุ |
|----------|---------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|----------|
|          |                                                         | 5          | 4 | 3 | 2 | 1 |          |
| 1        | ด้านคุณธรรม จริยธรรม<br>เข้าเรียนตรงต่อเวลา             |            |   |   |   |   |          |
| 2        | มีวินัย และแต่งกายถูกระเบียบ                            |            |   |   |   |   |          |
| 3        | มีความมุ่งมั่น และตั้งใจปฏิบัติงาน                      |            |   |   |   |   |          |
| 4        | มีการทำงานร่วมกับผู้อื่น หรือเป็นทีม                    |            |   |   |   |   |          |
| 5        | ส่งงานในเวลาที่กำหนด                                    |            |   |   |   |   |          |
| 6        | ด้านทักษะการปฏิบัติงาน<br>การปฏิบัติงานเป็นไปตามขั้นตอน |            |   |   |   |   |          |
| 7        | แบบงานมีความประณีต และสวยงาม                            |            |   |   |   |   |          |
| 8        | แบบงานถูกต้องตามหลักวิชาการ                             |            |   |   |   |   |          |
| 9        | ปฏิบัติงานเสร็จสิ้นตามเวลาที่กำหนด                      |            |   |   |   |   |          |
| 10       | มีลักษณะนิสัยของความปลอดภัย                             |            |   |   |   |   |          |
|          | <b>รวมคะแนน</b>                                         |            |   |   |   |   |          |

สรุปผลการประเมิน ผ่าน ไม่ผ่าน คะแนนที่ได้.....

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน  
 (.....)  
 ...../...../.....

**แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล**  
**หน่วยที่ 1 เรื่อง การไหลในท่อและการไหลในท่อโค้ง**

**คำชี้แจง** ให้ทำเครื่องหมาย ✓ และหากผู้เรียนมีพฤติกรรมนั้น ลงในช่องรายการ

| ที่ | ชื่อ-<br>นามสกุล | การแสดงพฤติกรรมของผู้เรียนในระหว่างเรียน |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   | รวม<br>คะแนน |                           |   |   |   |
|-----|------------------|------------------------------------------|---|---|---|------------------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|------------------------|---|---|---|--------------|---------------------------|---|---|---|
|     |                  | การสนใจเรียน                             |   |   |   | การแสดง<br>ความคิดเห็น |   |   |   | การตอบ<br>คำถาม |   |   |   | การยอมรับฟัง<br>คนอื่น |   |   |   |              | ทำงานตามที่<br>ครูมอบหมาย |   |   |   |
|     |                  | 4                                        | 3 | 2 | 1 | 4                      | 3 | 2 | 1 | 4               | 3 | 2 | 1 | 4                      | 3 | 2 | 1 |              | 4                         | 3 | 2 | 1 |
| 1   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 2   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 3   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 4   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 5   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 6   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 7   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 8   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 9   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 10  |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |

**เกณฑ์การวัดผล** ให้คะแนนระดับคุณภาพของแต่ละพฤติกรรมดังนี้

1. ดีมาก = 4 สนใจฟัง ไม่หลับ ไม่พูดคุยในชั้น มีคำถาม ตอบคำถามถูก ทำงานส่งตามเวลาอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 90 - 100%
2. ดี = 3 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 70 - 89%
3. ปานกลาง = 2 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 50 - 69 %
4. ปรับปรุง = 1 เข้าชั้นเรียน แต่การแสดงออกน้อยมาก ส่งงานไม่ครบ ส่งงานไม่ตรงเวลา

**เกณฑ์การประเมิน**

คะแนนรวมตามแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

ลงชื่อ .....ครูผู้สอนสังเกต  
 (.....)

**วิทยาลัยการอาชีพบางสะพาน**  
**แบบประเมินด้านคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์**

สาขาวิชา.....สาขางาน.....ระดับชั้น.....กลุ่ม.....

| ลำดับ<br>ที่ | ชื่อ-สกุล | รายการประเมิน    |               |           |             |         |           |         |           |       |            | คะแนนรวม | คะแนนเฉลี่ย |
|--------------|-----------|------------------|---------------|-----------|-------------|---------|-----------|---------|-----------|-------|------------|----------|-------------|
|              |           | ยึดมั่นในสถาบันฯ | ละเว้นอบายมุข | ความเมตตา | ความสามัคคี | จิตอาสา | ซื่อสัตย์ | ประหยัด | ซื่อสัตย์ | สุภาพ | ตรงต่อเวลา |          |             |
| 1            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 2            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 3            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 4            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 5            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 6            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 7            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 8            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 9            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 10           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 11           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 12           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 13           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 14           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 15           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 16           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 17           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 18           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 19           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 20           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |

หมายเหตุ

- เกณฑ์การประเมินคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์

- 3 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนแสดงประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอและเป็นผู้ทำได้  
 2 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอ  
 1 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติไม่สม่ำเสมอ  
 0 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนไม่ประพฤติปฏิบัติ

|                                                                                   |                                                           |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | แผนการจัดการเรียนรู้                                      | หน่วยที่ ... 10              |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 16-17            |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การวัดอัตราการไหล                    | ทฤษฎี 6 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง/งาน การวัดอัตราการไหล                                                  |                                                           |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

- 3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลแบบรู
- 3.2. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลแบบเวนจูรี
- 3.3. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลแบบหลอด

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายหลักการวัดอัตราการไหลแบบรู แบบเวนจูรี และแบบหลอดได้ถูกต้อง
- 4.2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์  $C_c$   $C_v$  และ  $C_d$  ได้ถูกต้อง
- 4.3. คำนวณหาอัตราการไหลผ่านเวนจูรีได้ถูกต้อง
- 4.4. คำนวณหาอัตราการไหลผ่านหลอดได้ถูกต้อง
- 4.5. คำนวณหาพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการไหลของของไหลได้ถูกต้อง

### 5. สารการเรียนรู้

- 5.1. การวัดอัตราการไหลผ่านรู
- 5.2. สัมประสิทธิ์ของกระแสของของไหลเริ่มขนาน
- 5.3. สัมประสิทธิ์ของความเร็ว
- 5.4. สัมประสิทธิ์ของการจ่ายของไหล
- 5.5. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์  $C_c$   $C_v$  และ  $C_d$
- 5.6. การสูญเสียความดันในรูปความสูงของการวัดอัตราการไหลผ่านรู
- 5.7. การวัดอัตราการไหลผ่านเวนจูรี
- 5.8. การจ่ายผ่านเวนจูรี
- 5.9. การวัดอัตราการไหลผ่านหลอด

### 6. กิจกรรมการเรียนรู้

#### 6.1 การนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายจุดประสงค์การเรียนรู้ สารการเรียนรู้ให้นักเรียนฟัง
2. ครูอธิบายความเป็นมาหรือสาระสำคัญของการวัดอัตราการไหลให้นักเรียนฟัง

#### 6.2 การเรียนรู้

- 6.2.1 หนังสือเรียน วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ของสำนักพิมพ์เอ็มพันธ์
- 6.2.2 สื่ออิเล็กทรอนิกส์ และ Power Point
- 6.2.3 กิจกรรมการเรียนการสอน

6.2.4 รูปภาพประกอบ

6.2.5 แบบหุ่นจำลอง

### 6.3 การสรุป

6.3.1 สรุปบทเรียนส่วนที่เป็นสาระสำคัญ

### 6.4 การวัดและประเมินผล

6.4.1. สังเกตพฤติกรรมรายบุคคล

6.4.2. กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้

6.4.3. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้

6.4.4 แบบประเมินผลการปฏิบัติงานและแบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม

## 7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

7.1. Power Point เรื่อง การวัดอัตราการไหล

## 8. หลักฐานการเรียนรู้

### 8.1 หลักฐานความรู้

1. เอกสารรับรองจากการทดสอบความรู้

### 8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน

1. แบบบันทึกความคิดเห็นของครูผู้สอน

2. แบบรับรองการปฏิบัติงานจากสถานประกอบการ

3. แบบบันทึกรายการจากการสังเกตจากการปฏิบัติงาน

## 9. การวัดและประเมินผล

### 9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน

1. วางแผนและเตรียมความพร้อมในการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง การวัดอัตราการไหล

2. สรุปผลการวางแผนช่องทางในการใช้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง การวัดอัตราการไหล

### 9.2 วิธีการประเมิน

1. พิจารณาหลักฐานความรู้

2. พิจารณาหลักฐานการปฏิบัติงาน

### 9.3 เครื่องมือประเมิน

1. แบบทดสอบก่อนเรียน

2. ใบความรู้ที่ 1

3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

## 10. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

## 10.1 ข้อสรุปหลังการจัดการเรียนรู้

---

---

---

## 10.2 ปัญหาที่พบ

---

---

---

## 10.3 แนวทางแก้ปัญหา

---

---

---



|                                                                                   |                                                          |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบความรู้ ที่ 1                                          | หน่วยที่ ... 10              |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 16-17            |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การวัดอัตราการไหล                   | ทฤษฎี 3 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง การวัดอัตราการไหล                                                      |                                                          |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

- 3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลแบบรู
- 3.2. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลแบบเวนจูรี
- 3.3. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลแบบหลอด

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

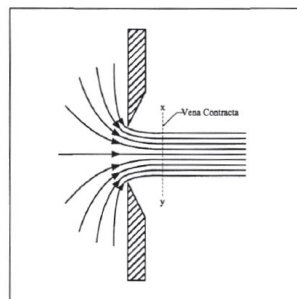
- 4.1. อธิบายหลักการวัดอัตราการไหลแบบรู แบบเวนจูรี และแบบหลอดได้ถูกต้อง
- 4.2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์  $C_c$ ,  $C_v$  และ  $C_d$  ได้ถูกต้อง
- 4.3. คำนวณหาอัตราการไหลผ่านเวนจูรีได้ถูกต้อง
- 4.4. คำนวณหาอัตราการไหลผ่านหลอดได้ถูกต้อง
- 4.5. คำนวณหาพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการไหลของของไหลได้ถูกต้อง

### 5. เนื้อหาสาระ

#### การวัดอัตราการไหลผ่านรู (Flow Through Orifices)

เมื่อของไหลไหลผ่านรู (Orifice) จำนวนของไหลที่ผ่านรู (Discharge) จะขึ้นอยู่กับขนาดรูปร่างและแบบของรู ตามสภาพความเป็นจริง เนื่องจากในขณะที่ของไหลไหลผ่านรูจะมีความฝืด ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้น จำนวนของไหลที่ผ่านรูและความเร็วที่ใช้จริง (Actual Discharge and Actual Velocity) จะเปลี่ยนไปและมีค่าต่างกับของไหลที่ผ่านรู และความเร็วทางทฤษฎี (Ideal Discharge and Ideal Velocity)

จากการทดลองปรากฏว่า ขณะที่ของไหลไหลผ่านรูนั้น กระแสของของไหล (Stream Line) จะไม่ขนานกัน แต่จะเกิดคอคอด (Contraction) ขึ้น คอคอดนี้จะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และลักษณะของรูนั้น ส่วนของน้ำที่พุ่งตรง กระแสของของไหลเริ่มขนานกัน เรียกว่า Vena Contracta



### สัมประสิทธิ์ของกระแสของของไหลเริ่มขนาน (The Coefficient of Contraction)

อัตราส่วนของพื้นที่ของน้ำที่จุด Vena Contraction กับพื้นที่ของรู เรียกว่า Coefficient of Contraction ( $C_C$ )

$$C_C = \frac{\text{พื้นที่ของน้ำที่พุ่งตรงเริ่มขนาน (Area of Waterjet)}}{\text{พื้นที่ของน้ำที่ผ่านรู (Area of Orifice)}}$$

$$A_{JET} = C_C \times A_0$$

โดย

$$A_{JET} = \text{พื้นที่ของน้ำที่พุ่งตรงเริ่มขนาน}$$

$$C_C = \text{สัมประสิทธิ์ของกระแสของของไหลเริ่มขนาน}$$

$$A_0 = \text{พื้นที่ของน้ำที่ผ่านรู}$$

ค่า  $C_C$  หาได้จากการทดลอง ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และลักษณะของรู (Orifice)

$C_C$  ของรูที่ขอบคม (Sharp Edge Orifice) มีค่าเท่ากับ 0.61-0.72

### สัมประสิทธิ์ของความเร็ว (The Coefficient of Velocity)

สัมประสิทธิ์ของความเร็ว หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่าที่ Vena Contracta (Actual Velocity) กับความเร็วที่น้ำพุ่งเป็นลำ (Theoretical Velocity of Jet)

$$C_V = \frac{\text{ความเร็วที่ Vena Contracta (Actual Velocity)}}{\text{ความเร็วที่น้ำพุ่งเป็นลำ (Theoretical Velocity of Jet)}}$$

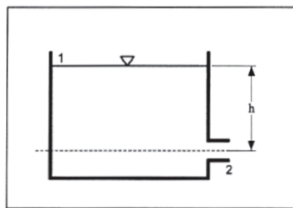
$$V_{act} = C_V \times V_{th}$$

โดย

$$V_{act} = \text{ความเร็วที่ Vena Contracta}$$

$$C_V = \text{Coefficient of Velocity}$$

$$V_{th} = \text{ความเร็วที่น้ำพุ่งเป็นลำ}$$



สมการการไหลสม่ำเสมอ เป็นสมการของ Bernoulli's Equation จะได้ว่า

$$\frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{P_2}{\gamma}$$

โดย

$$\begin{aligned} P_1 &= P_2 \quad (\text{เพราะเป็นความดันของบรรยากาศ}) \\ V_1 &= 0 \quad (\text{เพราะเป็นความเร็วที่ระดับน้ำไม่มีความร้อน}) \\ Z_2 &= 0 \quad (\text{เพราะความสูงที่จุด 2 ไม่มี}) \end{aligned}$$

ดังนั้น สมการ 10.3 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} Z_1 &= \frac{V_2^2}{2g} \\ V_2^2 &= 2gZ_1 \\ V_2^2 &= 2gh \\ \text{โดย} \quad Z_1 &= h \\ \text{ดังนั้น} \quad V_2 &= \sqrt{2gh} \end{aligned}$$

จากสมการ 10.2

$$\begin{aligned} V_{act} &= C_V \times V_{th} \\ \text{โดย} \quad V_2 &= V_{th} \\ \text{แทนค่า} \quad V_2 &= V_{th} \text{ ในสมการ 10.2} \\ \text{ดังนั้น} \quad V_{act} &= C_V \times \sqrt{2gh} \end{aligned}$$

ค่า  $C_V$  ขึ้นอยู่กับความเสียดทาน ขนาด รูปร่าง และลักษณะของรู (Orifice)  
 $C_V$  ของรูที่ขอบคม (Sharp Edge Orifice) มีค่าเท่ากับ 0.95-0.99

สัมประสิทธิ์ของการจ่ายของไหล (The Coefficient of Discharge)

เนื่องจากมีคอคอดเกิดขึ้นที่กระแสน้ำของไหลเริ่มขนาน (Water Jet) และความเร็วที่แท้จริง (Actual Velocity) น้อยกว่าความเร็วทางทฤษฎี (Theoretical Velocity) ดังนั้น การจ่ายของของไหลที่แท้จริง (Actual Discharge) จึงมีค่าน้อยกว่าการจ่ายของของไหลทางทฤษฎี (Theoretical Discharge)

$$C_d = \frac{\text{การจ่ายของของไหลที่แท้จริง (Actual Discharge)}}{\text{การจ่ายของของไหลทางทฤษฎี (Theoretical Discharge)}}$$

$$Q_{act} = C_d \times Q_{th}$$

โดย

$$\begin{aligned} Q_{act} &= \text{อัตราการจ่ายของของไหลที่แท้จริง} \\ C_d &= \text{สัมประสิทธิ์ของการจ่ายของของไหล} \\ Q_{th} &= \text{อัตราการจ่ายของของไหลทางทฤษฎี} \end{aligned}$$

ค่า  $C_d$  ขึ้นอยู่กับความเสียดทาน ขนาด รูปร่าง และลักษณะของรู (Orifice)  
 $C_d$  ของรูที่ขอบคม (Sharp Edge Orifice) มีค่าเท่ากับ 0.62

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์  $C_c$   $C_v$  และ  $C_d$

จากสมการที่ 10.5

$$Q_{act} = C_d \times Q_{th}$$

โดย  $Q_{th} = A_0 \times V_{th}$

ดังนั้น  $Q_{act} = A_{JET} \times V_{act}$

$$A_{JET} \times V_{act} = C_d \times A_0 \times V_{th}$$

$$A_{JET} = C_c \times A_0$$

$$V_{act} = C_v \times V_{th}$$

ดังนั้น สมการ 10.6 จึงได้ว่า

$$\begin{aligned} C_c \times A_0 \times C_v \times V_{th} &= C_d \times A_0 \times V_{th} \\ &= \frac{C_c \times A_0 \times C_v \times V_{th}}{A_0 \times V_{th}} \end{aligned}$$

$$C_d = C_c \times C_v$$

การสูญเสียความดันในรูปความสูงของการวัดอัตราการไหลผ่านรู (Head Loss in an Orifices)

การสูญเสียความดันที่ของไหลไหลผ่าน เกิดจากความเสียดทานของผิวท่อ ขนาดของท่อ ความยาวของท่อ และความเร็วในการไหล การสูญเสียกำลังงานจะสูงตามไปด้วย

$$V_{th} = \sqrt{2gh}$$

$$h = \frac{V_{th}^2}{2g}$$

$$V_{act} = C_v \cdot \sqrt{2gh}$$

$$h = \frac{1}{C_v^2} \cdot \frac{V_{act}^2}{2g}$$

เพราะฉะนั้น

$$\frac{V_{act}^2}{2g} = C_v^2 \cdot h$$

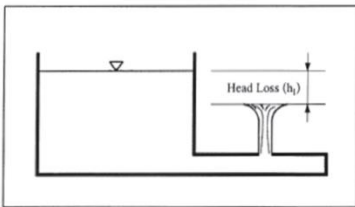
$$\text{Head loss} = h - C_v^2 \cdot h$$

$$h_L = (1 - C_v^2) \cdot h$$

$$h_L = \frac{V_{th}^2}{2g} - \frac{V_{act}^2}{2g}$$

$$= \frac{V_{act}^2}{C_v^2 \cdot 2g} - \frac{V_{act}^2}{2g}$$

$$h_L = \left[ \frac{1}{C_v^2} - 1 \right] \frac{V_{act}^2}{2g}$$

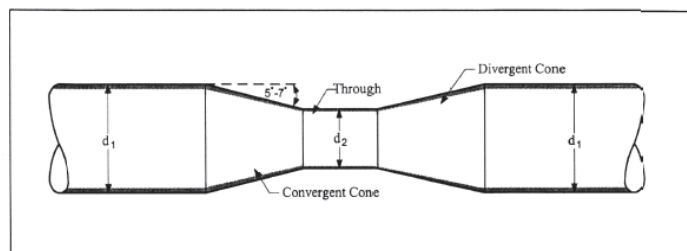


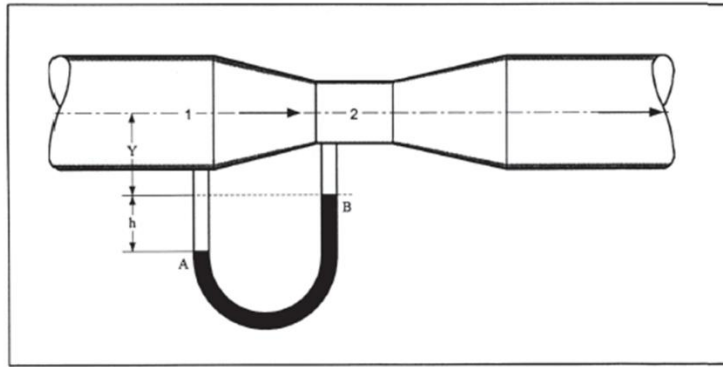
### การวัดอัตราการไหลผ่านเวนจูรี (Venturi Meter)

การวัดอัตราการไหลผ่านเวนจูรี เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับหาอัตราการไหลของของไหลในท่อ ซึ่งอาศัยหลักการของสมการการไหลอย่างสม่ำเสมอ (Bernoulli's Equation) เวนจูรีมิเตอร์ ประกอบด้วย ท่อเวนจูรี (Venturi Tube) และแมนอมิเตอร์ (Manometer) เป็นแบบเกจวัดความดันแตกต่าง (Different Pressure Gauge)

ท่อเวนจูรี (Venturi Tube) ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ 3 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เรียวจาก  $d_1$  กับ  $d_2$  เป็นส่วนของเหลวไหลเข้า (Convergent Cone)
2. ส่วนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง  $d_2$  ซึ่งมีค่าคงที่ (Through) โดย  $d_2$  มีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{4}$  ถึง  $\frac{1}{2}$  ของ  $d_1$
3. ส่วนที่เรียกว่า  $d_2$  ไป  $d_1$  เป็นส่วนของเหลวไหลออก (Divergent Cone) ความยาวของ Divergent Cone ยาวกว่า Convergent Cone





พิจารณาการวัดอัตราการไหลผ่านเวนจูรี (Venturi Meter) ซึ่งมีของเหลวไหลผ่านจากสมการเบอร์เนอรรี จะได้ว่า

$$\frac{V_1^2}{2g} + z_1 + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \frac{P_2}{\gamma}$$

#### การจ่ายผ่านเวนจูรี (Discharge Through a Venturi)

ให้ระดับสมมติ อยู่ที่จุดกึ่งกลางของท่อ  
โดย  
ดังนั้น จะได้ว่า

$$\frac{V_1^2}{2g} + z_1 + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \frac{P_2}{\gamma}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

จากสมการการไหลต่อเนื่อง (Equation of Continuity)

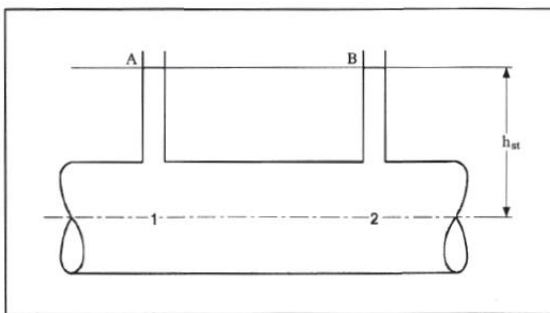
$$Q_1 = A_1 V_1 = A_2 V_2 \dots\dots\dots = \text{ค่าคงที่}$$

$$V_1 = \frac{A_2 V_2}{A_1}$$

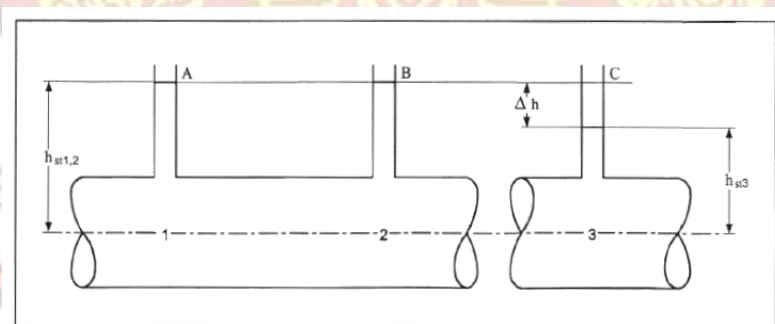
$$V_1^2 = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \cdot V_2^2$$

### การวัดอัตราการไหลผ่านหลอด (Pitot Tube)

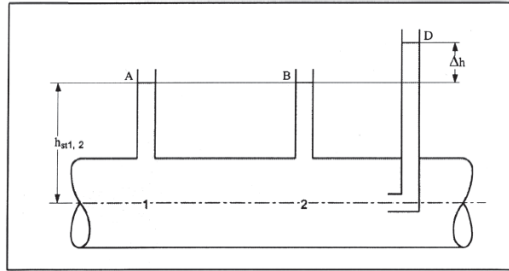
เราสามารถหาค่าความเร็วของของไหลที่ไหล โดยการพิจารณาลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในท่อ (Pipe) เมื่อของไหลในท่อไม่มีการเคลื่อนที่ ความดันที่อยู่ในรูปความสูง (Pressure Head) ในท่อ A และ B ย่อมสูงเท่ากันไม่ว่าหลอด (Tube) ทั้งสองอยู่ห่างกันเท่าไร เราเรียกความดันที่อยู่ในความสูงนี้ว่าความดันที่อยู่ในความสูงคงที่ (Static Pressure Head) ( $h_{st}$ )



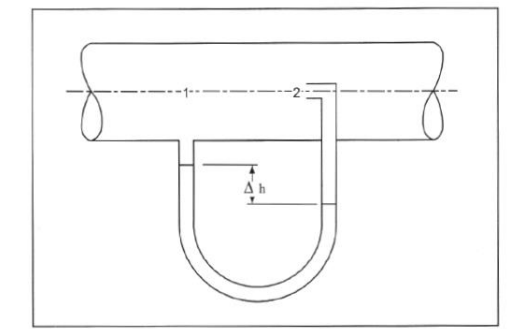
เมื่อของไหลในท่อ (Pipe) มีการเคลื่อนที่โดยหลอด A และ B อยู่ห่างกันเล็กน้อย เรื่อย่อมถือได้ว่า Pressure Head ในหลอด (Tube) ทั้งสองยังคงสูงเท่ากันอยู่ ถ้าหากมีหลอดอีกอันหนึ่ง เช่น หลอด C ซึ่งอยู่ห่างจาก A และ B มาก เราจะพบว่า Pressure Head ในหลอด C ต่ำกว่าหลอด A และ B ทั้งนี้เพราะมีการไหลเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อของไหลได้เปลี่ยนจากพลังงานศักย์ (Potential Energy or Static Head) มาเป็นพลังงานจลน์ (Kinetic Energy or Velocity Head) ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\Delta h$



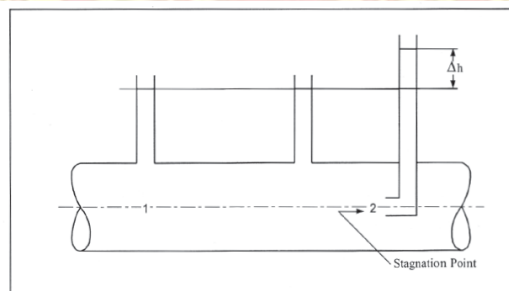
นำ Pitot Tube D มาใส่ไว้ใน Pipe โดยให้ปลายล่างเป็นปากเปิดอยู่ติดกับจุด 2 และอยู่ในแนวศูนย์กลางของท่อ (Center Line of Pipe) ลักษณะเช่นนี้เราจะพบว่า ระดับของของไหลในหลอด D ต่อกับหลอด A และ B อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อธิบายได้ว่า ความสูงที่เพิ่มขึ้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของมวลที่จุด 1 มาเป็นพลังงานความดัน (Pressure Energy) ที่จุด 2 เพราะเมื่อมวลอยู่ที่จุด 1 ย่อมมีความเร็วไม่เท่ากับศูนย์ แต่เมื่อไหลมาปะทะกับมวลในหลอด (Tube) ที่จุด 2 อยู่ที่ปากหลอด D ความเร็วของมวลนั้นเท่ากับศูนย์จะเห็นได้ว่า ยิ่งมีการปะทะเร็วหรือแรงมาก ค่า  $\Delta h$  ยิ่งสูงมาก



เพื่อให้เกิดความสะดวกในการอ่านค่า  $h$  เราควรใช้ U-Tube Manometer เข้ามาช่วย ข้อควรระวัง ลักษณะเช่นนี้เราจะได้ค่ามีหน่วยเป็นความสูงของของไหลในแมนอมิเตอร์ ดังนั้น เราต้องเปลี่ยนความสูงของของไหลในแมนอมิเตอร์เป็นความสูงของของไหลที่ไหลในท่อก่อนจึงจะนำไปคำนวณหาความเร็ว จากสูตร  $v = \sqrt{2gh}$  ได้



เป็นเครื่องมือสำหรับวัดความเร็วของของไหลที่กำลังไหล ของไหลตรงส่วนที่ตรงกับปลายท่อ Pitot Tube จะไหลเข้าไปใน Pitot Tube ทำให้ระดับของของไหลในหลอด (Tube) สูงขึ้นเรื่อย ๆ เลยความดันที่อยู่ในรูปความสูง (Static Pressure Head) จนถึงจุดหนึ่งระดับของของไหลก็คงที่ จะทำให้น้ำหนักของของไหลในหลอด (Tube) เท่ากับแรงดันของของไหลที่ทางเข้าหลอด (Tube) และจะมีจุดหนึ่งอยู่บริเวณทางเข้าของ Pitot Tube ที่มีความเร็วเท่ากับศูนย์จุดนี้เรียกว่า Stagnation Point เพราะฉะนั้นของไหลภายใน Pitot จะเป็นของไหลที่อยู่นิ่ง (Static Fluid)



พิจารณาจุด 1 และจุด 2 จากสมการเบอร์เนอรรี  $\frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{P_2}{\gamma}$

โดย

$$Z_1 = Z_2 = 0 \text{ (เป็นระดับเดียวกัน)}$$

$$V_2 = 0 \text{ (เป็นความเร็วที่จุดจุดหนึ่งอยู่บริเวณทางเข้าของ Pitot Tube มีค่าเท่ากับศูนย์)}$$

$$V_1^2 = \frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} \cdot 2g$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} \cdot 2g}$$

$$V_1 = \sqrt{2gh}$$

ดังนั้น

$$V_{act} = C_P \times V_{th}$$

โดย

$$V_{act} = \text{ความเร็วที่ใช้งานจริง}$$

$$V_{th} = V_1$$

$$V_{th} = \text{ความเร็วทางทฤษฎี}$$

$$C_P = \text{ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านหลอด (Coefficient of Pitot Tube)}$$

## 6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

### แบบฝึกหัดที่ 10 การวัดอัตราการไหล

1. ของไหลที่ผ่านรู (Orifice) แล้วกระแสของไหลนั้นเริ่มขนาน เรียกว่าอะไร

.....

.....

.....

2. สัมประสิทธิ์ของความเร็ว หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

3. สัมประสิทธิ์ของการจ่ายของไหล หมายถึงอะไร

.....

.....

.....

4. ความสัมพันธ์ระหว่าง  $C_d$ ,  $C_c$  และ  $C_v$  คืออะไร

.....

.....

.....

5. เวนจูรีมิเตอร์ประกอบด้วยอะไรบ้าง

.....

.....

.....

6. จุด Stagnation Point คืออะไร

.....

.....

.....

7. อัตราส่วนของพื้นที่ของน้ำที่จุด Vena Contracta กับพื้นที่ของรู เรียกว่าอะไร

.....

.....

.....

8.  $A_{jet}$  มีค่าเท่ากับอะไร

.....

.....

.....

9.  $V_{act}$  มีค่าเท่ากับอะไร

.....

.....

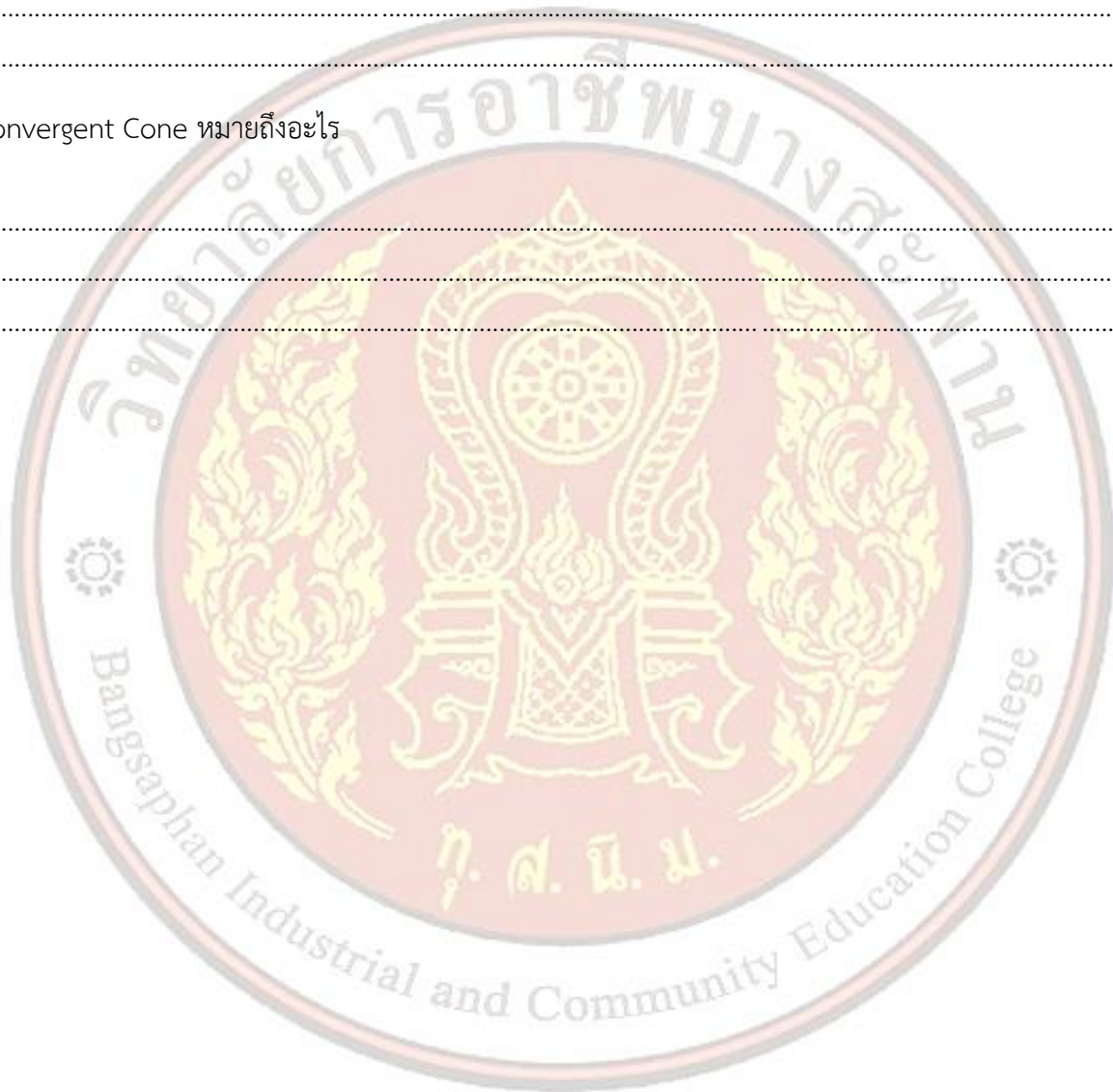
.....

10. Convergent Cone หมายถึงอะไร

.....

.....

.....



## 7. เอกสารอ้างอิง (ขึ้นหน้าใหม่)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

## 8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชาการศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม

### เฉลยแบบฝึกหัดที่ 10 การวัดอัตราการไหล

1. ของไหลที่ผ่านรู (Orifice) แล้วกระแสของไหลนั้นเริ่มขนาน เรียกว่าอะไร  
ของไหลที่ผ่านรู (Orifice) แล้วกระแสของไหลนั้นเริ่มขนาน เรียกว่า การวัดอัตราการไหลผ่านรู
2. สัมประสิทธิ์ของความเร็วนั้นหมายถึงอะไร  
สัมประสิทธิ์ของความเร็วนั้นหมายถึง อัตราส่วนระหว่างความเร็วที่ Vena Contracta กับความเร็วที่น้ำพุ่งเป็นลำ
3. สัมประสิทธิ์ของการจ่ายของไหล หมายถึงอะไร  
สัมประสิทธิ์ของการจ่ายของไหล หมายถึง การเกิดคอขวดเกิดขึ้นที่กระแสน้ำของไหลเริ่มขนาน และความเร็วที่ใช้จริงน้อยกว่าความเร็วทางทฤษฎี
4. ความสัมพันธ์ระหว่าง  $C_d$ ,  $C_c$  และ  $C_v$  คืออะไร  
ความสัมพันธ์ระหว่าง  $C_d$ ,  $C_c$  และ  $C_v$  คือ  $C_d = C_c \times C_v$
5. เวนจูรีมิเตอร์ประกอบด้วยอะไรบ้าง  
เวนจูรีมิเตอร์ประกอบด้วยท่อเวนจูรี และแมนอมิเตอร์
6. จุด Stagnation Point คืออะไร  
จุด Stagnation Point คือ จุดที่อยู่บริเวณทางเข้าของ Pitot Tube ที่มีความเร็วเท่ากับศูนย์
7. อัตราส่วนของพื้นที่ของน้ำที่จุด Vena Contracta กับพื้นที่ของรู เรียกว่าอะไร  
อัตราส่วนของพื้นที่ของน้ำที่จุด Vena Contracta กับพื้นที่ของรู เรียกว่า Coefficient of Contraction
8.  $A_{jet}$  มีค่าเท่ากับอะไร  
 $A_{jet}$  มีค่าเท่ากับพื้นที่ของน้ำที่พุ่งตรงเริ่มขนาน
9.  $V_{act}$  มีค่าเท่ากับอะไร  
 $V_{act}$  มีค่าเท่ากับความเร็วที่ Vena Contracta
10. Convergent Cone หมายถึงอะไร  
Convergent Cone หมายถึง ส่วนที่เรียกจาก  $d_1$  ถึง  $d_2$  เป็นส่วนของเหลวเข้า

|                                                                                   |                                                          |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | ใบงาน ที่ 10                                             | หน่วยที่ ... 10              |
|                                                                                   | รหัสวิชา 30101-2001 ชื่อวิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล | สอนครั้งที่ 16-18            |
|                                                                                   | ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การวัดอัตราการไหล                   | ทฤษฎี 9 ชม.<br>ปฏิบัติ 0 ชม. |
| ชื่อเรื่อง การวัดอัตราการไหล                                                      |                                                          |                              |

### 1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียนรู้

วิเคราะห์หลักสถิติศาสตร์และหลักพลศาสตร์ของไหลในงานเทคนิคเครื่องกล

### 2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

ไม่มี

### 3. สมรรถนะประจำหน่วย

- 3.1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลแบบรู
- 3.2. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลแบบเวนจูรี
- 3.3. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลแบบหลอด

### 4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 4.1. อธิบายหลักการวัดอัตราการไหลแบบรู แบบเวนจูรี และแบบหลอดได้ถูกต้อง
- 4.2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์  $C_c$ ,  $C_v$  และ  $C_d$  ได้ถูกต้อง
- 4.3. คำนวณหาอัตราการไหลผ่านเวนจูรีได้ถูกต้อง
- 4.4. คำนวณหาอัตราการไหลผ่านหลอดได้ถูกต้อง
- 5.5. คำนวณหาพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการไหลของของไหลได้ถูกต้อง

### 5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

1. แบบทดสอบก่อนเรียน
2. ใบความรู้ที่ 1
3. แบบประเมินแฟ้มสะสมผลงาน

### 6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

ไม่มี

### 7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

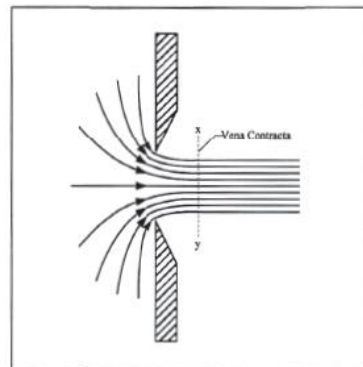
ชั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. ครูอธิบายจุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ให้นักเรียนฟัง
2. ครูอธิบายความเป็นมาหรือสาระสำคัญของการไหลในท่อและการไหลในท่อโค้งให้นักเรียนฟัง

### ชั้นสอน

1. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลผ่านรู

เมื่อของไหลไหลผ่านรู จำนวนของไหลที่ผ่านรูจะขึ้นอยู่กับขนาดรูปร่างและแบบของรูตามสภาพความเป็นจริง เนื่องจากในขณะที่ของไหลไหลผ่านรูจะมีความฝืด ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของรูเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังรูป



2. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ของกระแสของของไหลเริ่มขนาน

อัตราส่วนของพื้นที่ของน้ำที่จุด Vena Contracta กับพื้นที่ของรู เรียกว่า Coefficient of Contraction ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$C_c = \frac{\text{พื้นที่ของน้ำที่พุ่งตรงเริ่มขนาน (Area of Waterjet)}}{\text{พื้นที่ของน้ำที่ผ่านรู (Area of Orifice)}}$$

$$A_{JET} = C_c \times A_o$$

โดย  $A_{JET}$  = พื้นที่ของน้ำที่พุ่งตรงเริ่มขนาน  
 $C_c$  = สัมประสิทธิ์ของกระแสของของไหลเริ่มขนาน  
 $A_o$  = พื้นที่ของน้ำที่ผ่านรู

3. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ของความเร็ว

สัมประสิทธิ์ของความเร็วมุ่งถึง อัตราส่วนระหว่างความเร็วที่ Vena Contracta กับความเร็วที่น้ำพุ่งเป็นลำ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$C_v = \frac{\text{ความเร็วที่ Vena Contracta (Actual Velocity)}}{\text{ความเร็วที่น้ำพุ่งเป็นลำ (Theoretical Velocity of Jet)}}$$

$$v_{act} = C_v \times v_{th}$$

โดย  $v_{act}$  = ความเร็วที่ Vena Contracta  
 $C_v$  = Coefficient of Velocity  
 $v_{th}$  = ความเร็วที่น้ำพุ่งเป็นลำ

4. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ของการจ่ายของไหล

เนื่องจากมีคอขวดเกิดขึ้นที่กระแสของไหลเริ่มขนาน และความเร็วที่แท้จริงน้อยกว่าความเร็วทางทฤษฎี ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$C_d = \frac{\text{การจ่ายของของไหลที่ได้จริง (Actual Discharge)}}{\text{การจ่ายของของไหลทางทฤษฎี (Theoretical Discharge)}}$$

$$Q_{act} = C_d \times Q_{th}$$

โดย  $Q_{act}$  = อัตราการจ่ายของของไหลที่ได้จริง  
 $C_d$  = สัมประสิทธิ์ของการจ่ายของของไหล  
 $Q_{th}$  = อัตราการจ่ายของของไหลทางทฤษฎี

5. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์  $C_c$   $C_v$  และ  $C_d$  ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์  $C_c$   $C_v$  และ  $C_d$  ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\begin{aligned} Q_{act} &= C_d \times Q_{th} \\ \text{โดย } Q_{th} &= A_o \times v_{th} \\ Q_{act} &= A_{JET} \times v_{act} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$A_{JET} \times v_{act} = C_d \times A_o \times v_{th}$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } A_{JET} &= C_c \times A_o \\ v_{act} &= C_v \times v_{th} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c \times A_o \times C_v \times v_{th} &= C_d \times A_o \times v_{th} \\ &= \frac{C_c \times A_o \times C_v \times v_{th}}{A_o \times v_{th}} \end{aligned}$$

$$C_d = C_c \times C_v$$

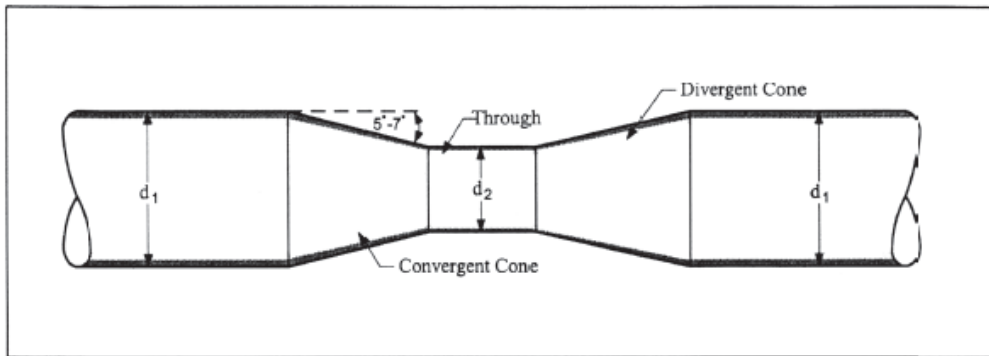
6. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการสูญเสียความดันในรูปความสูงของการวัดอัตราการไหลผ่านรู

การสูญเสียความดันที่ของไหลไหลผ่านรู เกิดจากความเสียดทานของผิวท่อ ขนาดของท่อ ความยาวของท่อ และความเร็วในการไหล การสูญเสียกำลังงานจะสูงตามไปด้วย

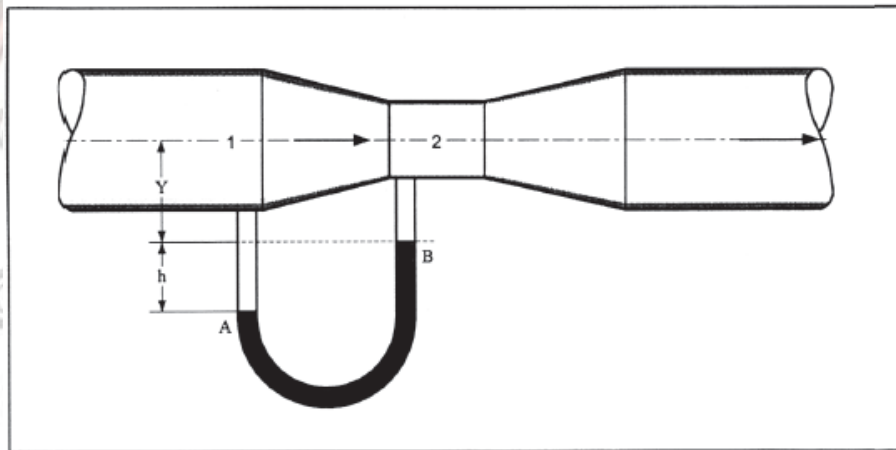
7. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลผ่านเวนจูรี

การวัดอัตราการไหลผ่านเวนจูรี เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับหาอัตราการไหลของของไหลในท่อ ซึ่งอาศัยหลักการของสมการการไหลอย่างสม่ำเสมอ

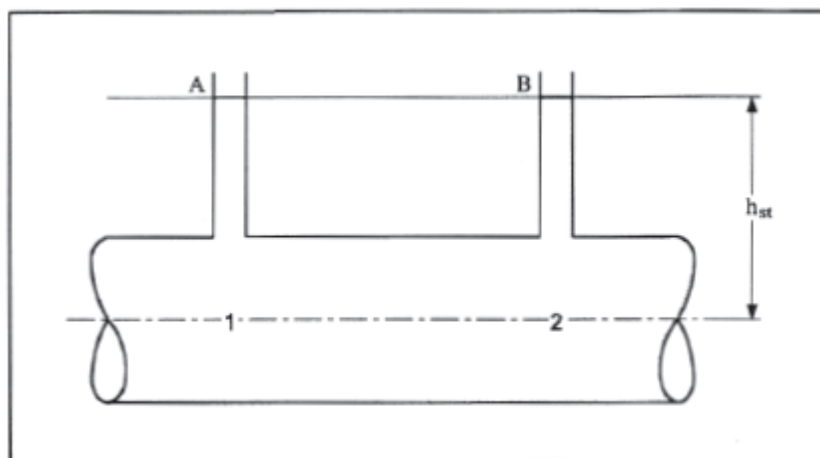
เวนจูรีมิเตอร์ ประกอบด้วย ท่อเวนจูรี และแมนอมิเตอร์เป็นแบบเกจวัดความดันแตกต่าง ดังรูป



8. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการจ่ายผ่านเวนจูรี  
พิจารณาการวัดอัตราการไหลผ่านเวนจูรี ซึ่งมีของเหลวไหลผ่าน ดังรูป



9. ครูใช้สื่อ Power Point ประกอบการอธิบายเกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลผ่านหลอด  
เมื่อของไหลในท่อไม่มีการเคลื่อนที่ ความดันที่อยู่ในรูปความสูงในท่อ A และ B ย่อมสูงเท่ากันไม่ว่า  
หลอดทั้งสองอยู่ห่างกันเท่าไร เราเรียกความดันที่อยู่ในความสูงนี้ว่า ความดันที่อยู่ในความสูงคงที่ ดังรูป



### ขั้นสรุป

1. ครูและผู้เรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาที่เรียน
2. ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด

### 8. สรุปและวิจารณ์ผล

การวัดอัตราการไหลของของไหลโดยใช้เครื่องมือวัด มีการวัดอัตราการไหลได้หลายวิธี เช่น การวัดอัตราการไหลโดยใช้ของไหลผ่านรู ของไหลผ่านเวนจูรี และของไหลผ่านหลอด ซึ่งวิธีการวัดอัตราการไหลของของไหลของแต่ละแบบเหมาะกับงานที่ใช้ ในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

### 9. การประเมินผล

1. เกณฑ์ผ่านการสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล
2. แบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้ มีเกณฑ์ผ่าน 50%

### 10. เอกสารอ้างอิง/เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

สำนักพิมพ์เอมพันธ์ วิชากลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล ผู้แต่ง อ.วีระศักดิ์ มะโนน้อม



**แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ใบงานที่ 1**  
**รายวิชา รายวิชา กลศาสตร์ของไหลในงานเครื่องกล รหัสวิชา 30101-2001**  
**เรื่อง การวัดอัตราการไหล**

ชื่อ.....สกุล.....ระดับชั้น.....สาขาวิชา.....กลุ่ม.....

| ลำดับที่ | หัวข้อการประเมิน                                        | ระดับคะแนน |   |   |   |   | หมายเหตุ |
|----------|---------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|----------|
|          |                                                         | 5          | 4 | 3 | 2 | 1 |          |
| 1        | ด้านคุณธรรม จริยธรรม<br>เข้าเรียนตรงต่อเวลา             |            |   |   |   |   |          |
| 2        | มีวินัย และแต่งกายถูกระเบียบ                            |            |   |   |   |   |          |
| 3        | มีความมุ่งมั่น และตั้งใจปฏิบัติงาน                      |            |   |   |   |   |          |
| 4        | มีการทำงานร่วมกับผู้อื่น หรือเป็นทีม                    |            |   |   |   |   |          |
| 5        | ส่งงานในเวลาที่กำหนด                                    |            |   |   |   |   |          |
| 6        | ด้านทักษะการปฏิบัติงาน<br>การปฏิบัติงานเป็นไปตามขั้นตอน |            |   |   |   |   |          |
| 7        | แบบงานมีความประณีต และสวยงาม                            |            |   |   |   |   |          |
| 8        | แบบงานถูกต้องตามหลักวิชาการ                             |            |   |   |   |   |          |
| 9        | ปฏิบัติงานเสร็จสิ้นตามเวลาที่กำหนด                      |            |   |   |   |   |          |
| 10       | มีสุขภาพดีของความปลอดภัย                                |            |   |   |   |   |          |
|          | <b>รวมคะแนน</b>                                         |            |   |   |   |   |          |

สรุปผลการประเมิน ผ่าน ไม่ผ่าน คะแนนที่ได้.....

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน  
 (.....)  
 ...../...../.....

**แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล**  
**หน่วยที่ 1 เรื่อง การวัดอัตราการไหล**

**คำชี้แจง** ให้ทำเครื่องหมาย ✓ และหากผู้เรียนมีพฤติกรรมนั้น ลงในช่องรายการ

| ที่ | ชื่อ-<br>นามสกุล | การแสดงพฤติกรรมของผู้เรียนในระหว่างเรียน |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   | รวม<br>คะแนน |                           |   |   |   |
|-----|------------------|------------------------------------------|---|---|---|------------------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|------------------------|---|---|---|--------------|---------------------------|---|---|---|
|     |                  | การสนใจเรียน                             |   |   |   | การแสดง<br>ความคิดเห็น |   |   |   | การตอบ<br>คำถาม |   |   |   | การยอมรับฟัง<br>คนอื่น |   |   |   |              | ทำงานตามที่<br>ครูมอบหมาย |   |   |   |
|     |                  | 4                                        | 3 | 2 | 1 | 4                      | 3 | 2 | 1 | 4               | 3 | 2 | 1 | 4                      | 3 | 2 | 1 |              | 4                         | 3 | 2 | 1 |
| 1   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 2   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 3   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 4   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 5   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 6   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 7   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 8   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 9   |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |
| 10  |                  |                                          |   |   |   |                        |   |   |   |                 |   |   |   |                        |   |   |   |              |                           |   |   |   |

**เกณฑ์การวัดผล** ให้คะแนนระดับคุณภาพของแต่ละพฤติกรรมดังนี้

1. ดีมาก = 4 สนใจฟัง ไม่หลับ ไม่พูดคุยในชั้น มีคำถาม ตอบคำถามถูก ทำงานส่งตามเวลาอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 90 - 100%
2. ดี = 3 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 70 - 89%
3. ปานกลาง = 2 พฤติกรรมการแสดงออกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 50 - 69 %
4. ปรับปรุง = 1 เข้าชั้นเรียน แต่การแสดงออกน้อยมาก ส่งงานไม่ครบ ส่งงานไม่ตรงเวลา

**เกณฑ์การประเมิน**

คะแนนรวมตามแบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้รายบุคคล ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

ลงชื่อ .....ครูผู้สอนสังเกต  
(.....)

**วิทยาลัยการอาชีพบางสะพาน**  
**แบบประเมินด้านคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์**

สาขาวิชา.....สาขางาน.....ระดับชั้น.....กลุ่ม.....

| ลำดับ<br>ที่ | ชื่อ-สกุล | รายการประเมิน    |               |           |             |         |           |         |           |       |            | คะแนนรวม | คะแนนเฉลี่ย |
|--------------|-----------|------------------|---------------|-----------|-------------|---------|-----------|---------|-----------|-------|------------|----------|-------------|
|              |           | ยึดมั่นในสถาบันฯ | ละเว้นอบายมุข | ความเมตตา | ความสามัคคี | จิตอาสา | ซื่อสัตย์ | ประหยัด | ซื่อสัตย์ | สุภาพ | ตรงต่อเวลา |          |             |
| 1            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 2            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 3            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 4            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 5            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 6            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 7            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 8            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 9            |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 10           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 11           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 12           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 13           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 14           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 15           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 16           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 17           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 18           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 19           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |
| 20           |           |                  |               |           |             |         |           |         |           |       |            |          |             |

หมายเหตุ

- เกณฑ์การประเมินคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์

- 3 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนแสดงประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอและเป็นผู้ทำได้
- 2 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติสม่ำเสมอ
- 1 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนประพฤติปฏิบัติไม่สม่ำเสมอ
- 0 คะแนน หมายถึง ผู้เรียนไม่ประพฤติปฏิบัติ