

ปัญหาช่องเก็บน้ำในการทดลองแท่งก้น้ำของทอริเชลลี



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

เมษายน 2561

ปัญหาช่องเก็บน้ำในการทดลองแท่งก้น้ำของทอริเชลลี



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

เมษายน 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปัญหาช่องเก็บน้ำในการทดลองแท่งก้น้ำของทอริเชลลี



บทคัดย่อ
ของ
ชรัญญา พานิช

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

เมษายน 2561

ชรัญญา พานิช. (2561). ปัญหาช่องเก็บน้ำในการทดลองแท้งก์น้ำของทอร์ริเชลลี. ปรินญาณพนธ์ กศ.ม. (ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สุพิชญ์ แฉมมณี, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.โชคชัย พุทธรักษา.

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการศึกษารูปแบบของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแท้งก์น้ำของทอร์ริเชลลีและศึกษาการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่องการทดลองแท้งก์น้ำของทอร์ริเชลลี จากการศึกษาแบบของระดับน้ำโดยใช้สมการความต่อเนื่อง สมการการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และกฎของทอร์ริเชลลี พบว่าความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำจะขึ้นกับระยะทางที่วัดจากแท้งก์น้ำ โดยช่องที่อยู่ใกล้แท้งก์น้ำมากที่สุดจะมีระดับน้ำต่ำที่สุด และค่อยๆ เพิ่มระดับขึ้นตามแนวเส้นตรงในช่องที่อยู่ห่างออกไปเรื่อยๆ ตามลำดับ นอกจากการศึกษารูปแบบของระดับน้ำดังกล่าว ความชันของแนวเส้นตรงของระดับน้ำยังสามารถนำมาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วของลำน้ำที่พุ่งออกจากรูเปิดด้านข้างของแท้งก์น้ำได้อีกด้วย ผู้วิจัยพบว่าในช่วงแรกที่ระดับน้ำเริ่มลดลง ลำน้ำที่พุ่งออกจะมีรูปแบบการไหลแบบโพรจคือลำน้ำไม่สัมผัสกับผนังรูเปิด และเมื่อระดับน้ำในแท้งก์ลดลงอีก ลำน้ำจะเริ่มสัมผัสผนังรูบางส่วนเรียกว่าการไหลแบบกึ่งแนบติด ในช่วงนี้สัมประสิทธิ์ความเร็วจะมีค่าประมาณ 1 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วของของไหลอุดมคติ และเมื่อระดับน้ำในแท้งก์ลดลงมาเข้าใกล้รูเปิด ลำน้ำจะสัมผัสผนังรูทั้งหมดเรียกว่าการไหลแบบแนบติด ในช่วงนี้สัมประสิทธิ์ความเร็วจะลดลงมามีค่าประมาณ 0.86 อย่างไรก็ตามลักษณะของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของลำน้ำที่กล่าวมานี้อาจไม่เหมือนกันสำหรับแต่ละรูเปิด โดยบางรูเปิดจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งสามรูปแบบในขณะที่บางรูเปิดอาจเป็นการไหลแบบแนบติดตั้งแต่ต้นและลักษณะของการเปลี่ยนแปลงระหว่างรูปแบบทั้งสามอาจเกิดขึ้นแบบฉับพลันหรือต่อเนื่องก็ได้

ผู้วิจัยนำผลการทดลองมาจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย กลุ่มตัวอย่างเลือกแบบเจาะจง เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนน่านนคร จังหวัดน่าน จำนวน 24 คน เครื่องมือวิจัย คือ เอกสารประกอบการเรียนเรื่องของไหล แผนการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย และแบบทดสอบเรื่องของไหล ผลการวิจัยพบว่า 1) หลังการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย นักเรียนมีความเข้าใจและมีแนวคิดวิทยาศาสตร์ดีขึ้น 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องของไหลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 3) หลังเรียนแบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย ไปแล้ว 4 สัปดาห์ นักเรียนมีความคงทนของความรู้เรื่องของไหลไม่แตกต่างจากหลังเรียน

WATER GATHERING SLOT PROBLEM IN TORRICELLI'S TANK EXPERIMENT



Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Education Degree in Physics
at Srinakharinwirot University
April 2018

Charunya Panich. (2017). *Water Gathering Slot Problem in Torricelli's Tank Experiment*. Master's Thesis, M.Ed. (Physics). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Thesis Advisor: Supitch Khemmani, Ph.D. Thesis Co-advisor: Asst. Prof. Chokchai Puttharugsa, Ph.D.

This research aims to study the pattern of water levels in the gathering slot in the tank experiment of Torricelli and to conduct a predict-share-observe-explain (PSOE) learning activity for this experiment. The calculation of water levels by using the continuity equation, an equation of projectile motion and Torricelli's Law revealed that the water level in the gathering slot closest to the tank had the lowest levels and the water levels in other slots increased proportionally to the distance measured from the tank. Besides the water level patterns, the velocity coefficient of small semi-sharp edged orifices could also be calculated from the slope of water level patterns in this experiment. The following observations and calculations were as follows: firstly, at high water levels in the tank, the water jet flows through the orifice at a high velocity without touching the orifice wall, known as "cavitated flow". Secondly, at moderate water levels, the jet velocity decreased so that it partially touched the orifice wall, defined in this research as a "semi-attached flow". Finally, as water levels approach an orifice, the jet velocity becomes small enough so that the jet fully touches the orifice wall, which is known as an "attached flow". The velocity coefficient for both cavitated and semi-attached flows were about one, which is the value for ideal fluid cases, while the coefficient dropped to approximately 0.86 for attached flow. It is worth noting that the behavior of the flow of each orifice may not be similar. Some orifices exhibited transition among three types of flow while some started with the attached flow from the outset. Moreover, the transition among three types of flow can occur in an abrupt way or in a continuous manner.

Based on the experimental results, the PSOE learning activities for gathering slot problems in the Tank experiment was conducted with twenty four participants (Grade Twelve students at Nannakorn School in the Nan province), who were selected by purposive sampling. The research instruments consisted of a learning document, lesson plans with PSOE learning activities and question tests. The results indicated that: 1) students had a better understanding of the scientific concepts of the Tank experiment; 2) the post-test mean score was significantly higher than the pre-test mean score at a 0.05 level of significance; 3) the students demonstrated retention of knowledge after PSOE learning activities for four weeks.

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษาและแนวทางการทำวิจัยจาก อาจารย์ ดร.สุพิชญ์ แหมมณี อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย-พุทธรักษา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการศึกษาค้นคว้าตลอดจน ให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุกท่านด้วยความเคารพอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.วัชร เลี้ยวเรียน อาจารย์ ดร.จตุรงค์ สุคนธชาติ และอาจารย์ ดร.สุนันทา มั่นมงคล ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบปากเปล่า พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะที่มีคุณค่า ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ตลอดจนแนะนำแก้ไขปริญญานิพนธ์จนสำเร็จอย่างสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ปณิธาน วนากมล อาจารย์ ดร.กนกพร จันทนารุ่งภักดิ์ และนางสาวบัณฑิตา ดอนกาวิณ ที่ให้ความกรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำและแก้ไขเครื่องมือในการวิจัยจนสามารถนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ได้

ขอกราบขอบพระคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนน่านนคร จังหวัดน่าน ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์ได้จากการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบแต่พระคุณบิดา มารดา ครูบาอาจารย์ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชรัญญา พานิช

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
ปัญหาช่องเก็บน้ำในการทดลองแท่งก้นน้ำของทอริริเซลล์
ของ
ชรัญญา พานิช

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	คณะกรรมการสอบปากเปล่า
.....ที่ปรึกษาหลัก	ประธาน
(อาจารย์ ดร.สุพิชญ์ ข้ามมณี)	(อาจารย์ ดร.วัชร เลี้ยวเวียน)
.....ที่ปรึกษาร่วม	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย พุทธรักษา)	(อาจารย์ ดร.สุพิชญ์ ข้ามมณี)
	กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย พุทธรักษา)
	กรรมการ
	(อาจารย์ ดร.จตุรงค์ สุคนธชาติ)
	กรรมการ
	(อาจารย์ ดร.สุนันทา มนัสมงคล)

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย	2
ขอบเขตงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
นิยามศัพท์เฉพาะ	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
ของไหล	4
การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย	13
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	16
การศึกษารูปแบบระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแท่งก้นน้ำของทอร์ริเชลลี	16
การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่องการทดลองแท่งก้นน้ำ ของทอร์ริเชลลี	19
4 ผลการทดลอง	23
ผลการศึกษาแบบระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแท่งก้นน้ำของทอร์ริเชลลี	23
ผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่องการทดลอง แท่งก้นน้ำของทอร์ริเชลลี	41
5 สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ	45
สรุปและอภิปรายผลการทดลอง	45
ข้อเสนอแนะ	49
บรรณานุกรม	50
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก	54

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก (ต่อ)	72
ภาคผนวก ข	72
ภาคผนวก ค	83
ภาคผนวก ง	127
ประวัติย่อผู้วิจัย	130



บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วที่ความสูงของรูปเปิดต่างๆ	37
2 ระดับแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่องการทดลองแก๊งก์น้ำของทอร์ริเชลลีของนักเรียนก่อน และหลังการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย	42
3 ผลการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ของไหล	44
4 ผลการศึกษาความคงทนของความรู้ เรื่อง ของไหล	44



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 รูปเสี้ยวความเร็วของของไหลในท่อสำหรับของไหลอุดมคติและการไหลจริง	5
2 ของไหลที่เคลื่อนที่ผ่านส่วนหนึ่งของท่อ	6
3 อนุภาคของไหลอุดมคติ	7
4 แท็งก์น้ำของทอริเซลลี	8
5 ของไหลในแท็งก์ที่มีรูเปิดด้านข้างและของไหลที่พุ่งออกจากรูเปิดขอบคม	10
6 สัมประสิทธิ์ต่างๆ ของรูเปิดแบบต่างๆ	11
7 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	17
8 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองด้านบนและด้านข้าง	17
9 การจัดเครื่องมือการทดลอง	18
10 อุปกรณ์การทดลอง	23
11 ระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแท็งก์น้ำของทอริเซลลีที่ความสูง h ของรูเปิด ต่างๆ	28
12 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $l(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=20$ เซนติเมตร	29
13 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $l(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=25$ เซนติเมตร	29
14 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $l(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=30$ เซนติเมตร	30
15 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $l(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=35$ เซนติเมตร	30
16 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $l(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=40$ เซนติเมตร	31
17 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $l(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=45$ เซนติเมตร	31
18 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $l(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=50$ เซนติเมตร	32
19 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $l(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=55$ เซนติเมตร	32
20 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $l(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=60$ เซนติเมตร	33

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
21 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $l(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=65$ เซนติเมตร	33
22 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $l(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=70$ เซนติเมตร	34
23 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $l(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=75$ เซนติเมตร	34
24 แสดงช่วงที่ระดับน้ำลดลงอย่างฉับพลัน ในการทดลองที่รูเปิด $h=20$	35
25 ลักษณะการไหลของลำน้ำแบบต่างๆ	36
26 การไหลของของไหลผ่านรูเปิดลักษณะต่างๆ	36
27 กราฟความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์ (Re) และระยะที่วัดจากผิวน้ำถึงรูเปิด ($H - h$) ที่รูเปิดสูง $h=30$ เซนติเมตร	39
28 กราฟความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์ (Re) และระยะที่วัดจากผิวน้ำถึงรูเปิด ($H - h$) ที่รูเปิดสูง $h=50$ เซนติเมตร	39
29 กราฟความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์ (Re) และระยะที่วัดจากผิวน้ำถึงรูเปิด ($H - h$) ที่รูเปิดสูง $h=70$ เซนติเมตร	40
30 กราฟความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์ (Re) และระยะที่วัดจากผิวน้ำถึงรูเปิด ($H - h$) ที่รูเปิดสูง $h=75$ เซนติเมตร	40
31 แนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนจากคำตอบข้อที่ 1 ก่อนเรียนและหลังเรียน	42
32 แนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนจากคำตอบข้อที่ 2 ก่อนเรียนและหลังเรียน	43
33 แนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนจากคำตอบข้อที่ 3 ก่อนเรียนและหลังเรียน	43
34 ตัวอย่างคำตอบข้อที่ 1 ของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน	47
35 ตัวอย่างคำตอบข้อที่ 2 ของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน	47
36 ตัวอย่างคำตอบข้อที่ 3 ของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน	48

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ของไหลเป็นสสารที่มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตของเราอยู่ตลอดเวลาไม่ว่าจะเป็นน้ำ อากาศ หรือของไหลชนิดอื่นๆ ความรู้เกี่ยวกับของไหลนั้นมีประโยชน์ในหลายๆ ด้าน และได้รับการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน หนึ่งในการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับของไหลนั้นคือการทดลองแก๊งก์น้ำของทอรรีเซลลี ในช่วงปีคริสต์ศักราช 1608-1647 ทอรรีเซลลีได้กล่าวถึงอัตราเร็วของของไหลที่ไหลผ่านรูขนาดเล็กด้านข้างแก๊งก์น้ำว่า อัตราเร็วของของไหลที่ไหลผ่านรูที่ความลึกค่าหนึ่งจะเท่ากับอัตราเร็วของวัตถุที่ตกจากที่สูงเท่ากับความลึกของรูนั้น

ในปัจจุบันกฎของทอรรีเซลลีเป็นหัวข้อที่ใช้สอนกันโดยทั่วไปในเรื่องกลศาสตร์ของไหล ในวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป ทั้งในระดับมัธยมศึกษาและระดับอุดมศึกษา คนทั่วไปจึงเคยเห็นและรู้จักการทดลองแก๊งก์น้ำของทอรรีเซลลี การทดลองแก๊งก์น้ำของทอรรีเซลลี ถูกนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่ออธิบายกฎของทอรรีเซลลีทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ผู้สอนส่วนใหญ่จะสอนหัวข้อนี้โดยการให้นักเรียนคำนวณอัตราเร็วของน้ำที่ไหลออกจากช่องเล็กๆ ของถัง ปัญหาทั่วไปที่ได้รับความสนใจในหัวข้อนี้คือ น้ำจะไหลออกจากรูด้วยอัตราเร็วเท่าไรและน้ำจะไหลไปได้ไกลเท่าไรจึงจะถึงพื้น (Gende. 2014; สสวท. 2012) ซึ่งเป็นคำถามที่พบบ่อยในทุกระดับชั้น งานวิจัยนี้จึงมีแรงบันดาลใจมาจากการนำแก๊งก์น้ำของทอรรีเซลลีมาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่แตกต่างออกไปเพื่อให้เป็นการเรียนรู้ที่น่าสนใจมากขึ้น

เป็นเวลานานมาแล้วที่นักการศึกษาหลายท่านกล่าวว่าการเรียนรู้ที่ดีคือการเรียนรู้ด้วยตนเอง พาสนา จุลรัตน์ (พาสนา จุลรัตน์. 2548) กล่าวว่า การได้มีส่วนร่วมในการคิดและลงมือปฏิบัติจริงทำให้นักเรียนได้รู้วิธีการแสวงหาความรู้ด้วยตนเองซึ่งสามารถใช้ได้ตลอดชีวิต ไวท์และกันสโตน (White; & Gunstone. 1992) กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย เป็นการจัดการเรียนรู้ ที่กระตุ้นให้นักเรียนทำนายปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ที่เกิดขึ้น มีการสังเกตและนำไปสู่การพยายามอธิบายปรากฏการณ์นั้นๆ จนเกิดเป็นการเรียนรู้ด้วยตัวเองซึ่งช่วยพัฒนาทักษะทางวิทยาศาสตร์ได้เป็นอย่างดี บราวน์ (Brown. 2015) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อธิบาย-สังเกต-อธิบาย ซึ่งพัฒนามาจากการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย โดยเพิ่มขั้นตอนการอธิบายร่วมกับผู้อื่นเพื่อเพิ่มทักษะการสื่อสารอันเป็นทักษะที่สำคัญในปัจจุบัน เป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แลกเปลี่ยนข้อมูลกับนักเรียนด้วยกันและกระตุ้นให้นักเรียนเรียนรู้งานร่วมกัน

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษารูปแบบของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแก๊งก์น้ำของทอรรีเซลลีที่ความสูงของรูเปิดระดับต่างๆ และใช้รูปแบบของระดับน้ำเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์-

ความเร็ว นอกจากนั้นงานวิจัยครั้งนี้ยังต้องการนำผลการทดลองไปประยุกต์เพื่อจัดการเรียนรู้ เรื่อง การทดลองแก๊งก์น้ำของทอรรีเซลลี ในหัวข้อของไหลในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งผู้วิจัย ได้จัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เพื่อศึกษาแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่อง การทดลองแก๊งก์น้ำของทอรรีเซลลีผลสัมฤทธิ์และความคงทนของความรู้ของนักเรียนในเรื่อง ของไหล

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อพิสูจน์รูปแบบของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแก๊งก์น้ำของทอรรีเซลลี ในทางทฤษฎี
2. เพื่อทำการทดลองหารูปแบบของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแก๊งก์น้ำของ ทอรรีเซลลี
3. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วจากรูปแบบของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลอง แก๊งก์น้ำของทอรรีเซลลี
4. เพื่อจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่องการทดลองแก๊งก์น้ำ ของทอรรีเซลลี

ขอบเขตงานวิจัย

1. ทำการพิสูจน์ทางทฤษฎีเพื่อหารูปแบบของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลอง แก๊งก์น้ำของทอรรีเซลลี
2. ทำการทดลองเพื่อหารูปแบบของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแก๊งก์น้ำของ ทอรรีเซลลี
3. หาค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วจากรูปแบบของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแก๊งก์น้ำ ของทอรรีเซลลี
4. นำผลการทดลองมาเป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต- อธิบาย เรื่องการทดลองแก๊งก์น้ำของทอรรีเซลลี

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อทราบและเข้าใจหลักการทางฟิสิกส์ของรูปแบบของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการ ทดลองแก๊งก์น้ำของทอรรีเซลลีที่ความสูงของรูเปิดต่างๆ
2. สามารถใช้เป็นอุปกรณ์ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วได้
3. ได้เอกสารประกอบการเรียนหัวข้อของไหลและการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย- สังเกต-อธิบาย เรื่องการทดลองแก๊งก์น้ำของทอรรีเซลลี

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **แท้งก์น้ำของทอรัรีเซลล์** หมายถึง ภาชนะทรงสูงสำหรับบรรจุน้ำที่เจาะรูด้านข้างให้น้ำสามารถพุ่งออกได้
2. **ช่องเก็บน้ำในการทดลองแท้งก์น้ำของทอรัรีเซลล์** หมายถึง อุปกรณ์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพิ่มเติมเพื่อรองรับน้ำที่พุ่งออกจากแท้งก์น้ำของทอรัรีเซลล์ มีลักษณะเป็นรางยาวแบ่งเป็นช่องเล็กๆ โดยมีความกว้างเท่าๆ กัน
3. **สัมประสิทธิ์ความเร็ว (velocity coefficient)** หมายถึง อัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองต่ออัตราเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีสำหรับของไหลอุดมคติ
4. **รูเปิดขอบกึ่งคม (semi-sharp edged orifice)** หมายถึง รูเปิดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางกับความยาวใกล้เคียงกัน โดยพฤติกรรมการไหลของของไหลผ่านรูเปิดจะมีลักษณะคาบเกี่ยวระหว่างรูปแบบของการไหลผ่านรูเปิดแบบไหล่เหลี่ยม (square shoulder) และรูเปิดแบบขอบคม (sharp edged)
5. **การเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย** หมายถึง การเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนได้แสดงเหตุผล แลกเปลี่ยนความคิดเห็น สังเกตผล และให้เหตุผลด้วยตนเอง ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการทำนาย (Predict) คือขั้นตอนที่ให้นักเรียนทำนายสิ่งที่จะเกิดขึ้นจากสถานการณ์ปัญหาที่กำหนด ขั้นตอนการอภิปราย (Share) คือขั้นตอนที่ให้นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ขั้นตอนการสังเกต (Observe) คือขั้นตอนที่ให้นักเรียนได้หาคำตอบโดยการสังเกตผลการทดลอง และขั้นตอนการอธิบาย (Explain) คือขั้นตอนที่ให้นักเรียนเปรียบเทียบและให้เหตุผลว่าสิ่งที่ทำนายกับผลการทดลองเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด เป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นและเรียนรู้ด้วยตนเอง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้มีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ของไหล (fluid)
 - 1.1 สมบัติของของไหลอุดมคติ
 - 1.2 ความรู้เบื้องต้นของการไหล
 - 1.3 การไหลอย่างต่อเนื่อง
 - 1.4 หลักการของแบร์นูลลี
 - 1.5 การทดลองเท็งก์น้ำของทอร์ริเชลลี
 - 1.6 ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ
 - 1.7 ลักษณะของรูเปิดแบบต่างๆ
 - 1.8 เลขเรย์โนลด์
 - 1.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย

1. ของไหล (fluid)

ของไหล (fluid) คือ สารที่สามารถไหลได้ ของไหลไม่มีรูปทรงเป็นของตัวเอง แต่เปลี่ยนไปตามรูปทรงของภาชนะที่บรรจุ ของไหลแบ่งออกเป็นของเหลวและแก๊ส โดยทั่วไปเรามักจะพิจารณาของไหลอุดมคติเพื่อให้่ายต่อการคำนวณและในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำประปา เป็นของไหลในการทดลอง

1.1 สมบัติของของไหลอุดมคติ

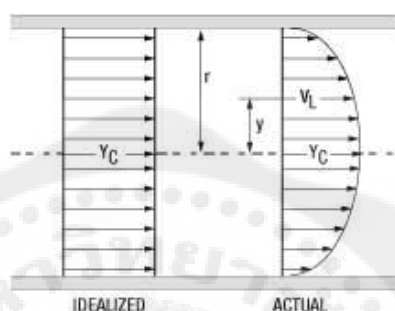
1. เป็นการไหลโดยไม่หมุน (irrotational flow) คือในบริเวณโดยรอบจุดหนึ่งๆ ในของไหลจะไม่มีอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเชิงมุมรอบจุดนั้นๆ เลย
2. เป็นการไหลที่ไม่มีแรงต้านเนื่องจากความหนืด (nonviscous flow) ไม่มีแรงต้านใดๆ ภายในเนื้อของไหลมากระทำต่ออนุภาคของไหล
3. ไม่สามารถอัดได้ (incompressible flow) ในทุกๆ ส่วนของของไหลมีความหนาแน่นคงตัว

1.2 ความรู้เบื้องต้นของการไหล

1.2.1 ความเร็วเฉลี่ย (average velocity)

การไหลของของไหลในกรณีนี้จะเน้นพิจารณาการไหลของของไหลในท่อ ในแนวคิดของการไหลแบบอุดมคติจะพิจารณาให้ภายในของท่อไม่มีความฝืดทำให้ความเร็วของของไหลในท่อมี

ค่าเท่ากันหมด แต่ในความเป็นจริงท่อมีความผิดเพี้ยนเล็กน้อยแตกต่างกัน ความเร็วของอนุภาคของไหลแต่ละอนุภาคจะแตกต่างกัน โดยความเร็วของของไหลจะเป็นศูนย์ที่ผิวท่อด้านในและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ห่างจากผิวท่อเข้ามา เรียกกราฟของความเร็วของของไหลที่แปรตามพิกัดในแนวตั้ง (รัศมีท่อ) ว่า “รูปเส้นความเร็ว (velocity profile)” (ทวิช จิตรสมบูรณ์. 2553) (ภาพประกอบ1) เพื่อให้สะดวกต่อการพิจารณาในหลายๆ ปัญหาสามารถใช้ความเร็วเฉลี่ยแทนความเร็วจริงตามรูปเส้นความเร็วได้ โดยความเร็วเฉลี่ยนิยามเป็นความเร็วคงที่สม่ำเสมอตลอดรูปเส้นความเร็วที่ทำให้อัตราการไหลมีค่าเท่ากับอัตราการไหลจริง



ภาพประกอบ 1 รูปเส้นความเร็วของของไหลในท่อสำหรับของไหลอุดมคติ (ซ้าย) และการไหลจริง (ขวา)

1.2.2 อัตราการไหลเชิงปริมาตร (volume flow rate; Q)

อัตราการไหลเชิงปริมาตร คือ ปริมาตร (V) ของของไหลต่อหน่วยเวลาที่ไหลผ่านขอบเขตใดๆ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q = \frac{dV}{dt} \quad (2.1)$$

สำหรับการไหลแบบสม่ำเสมอในท่อซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A สมการ (2.1) เขียนได้เป็น

$$Q = Av \quad (2.2)$$

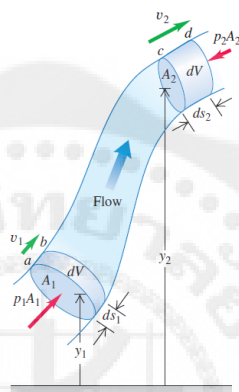
เมื่อ v คือ อัตราเร็วของของไหล

1.2.3 การสูญเสียพลังงานในการไหลของของไหล

ตามหลักการอนุรักษ์พลังงานถือว่าจะไม่มีการสูญเสียพลังงานเมื่อของไหลไหลผ่านท่อหรือปริมาตรควบคุม แต่ในความเป็นจริงระบบมีการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นทั้งจากความเสียดทานภายในท่อ ความหนืดของของไหลและปัจจัยอื่นๆ ดังนั้นในบางกรณีที่ต้องการสูญเสียพลังงานในการไหลมีความสำคัญในการพิจารณา จะมีการเพิ่มเทอมหรือสัมประสิทธิ์ที่เป็นตัวแทนการสูญเสียพลังงานเข้าไปด้วยซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อ 1.6

1.3 การไหลอย่างต่อเนื่อง (continuity of flow)

ของไหลอุดมคติมีสมบัติคือ มีการไหลอย่างสม่ำเสมอ เป็นการไหลโดยไม่หมุน เป็นการไหลที่ไม่มีแรงต้านเนื่องจากความหนืดและไม่สามารถบีบอัดได้ จากสมบัติของของไหลที่ไม่สามารถบีบอัดได้ มีความหมายว่ามวลของของไหลจะไม่เปลี่ยนแปลง (วิชิต. 2540) หากพิจารณาของไหลที่เคลื่อนที่ผ่านท่อดังภาพประกอบ 2 ภาคตัดขวางของของไหลที่บริเวณที่ 1 มีพื้นที่หน้าตัด A_1 จะเคลื่อนที่ได้ระยะทาง ds_1 หรือ $v_1 dt$ ดังนั้นปริมาตรของของไหลที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ $dV_1 = A_1 v_1 dt$ ในช่วงเวลาเท่ากันของไหลที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่ 2 จะมีปริมาตรเท่ากับ $dV_2 = A_2 v_2 dt$



ภาพประกอบ 2 ของไหลที่เคลื่อนที่ผ่านส่วนหนึ่งของท่อ
ที่มา: Md Tauseef Ibrahim; & Abraham Malik. 2015. ออนไลน์.

เมื่อพิจารณาว่าของไหลเป็นของไหลที่บีบอัดไม่ได้ทำให้มวลของของไหลที่ไหลผ่านแต่ละบริเวณมีค่าเท่ากัน นั่นคือ

$$dm_1 = dm_2$$

$$\rho A_1 v_1 dt = \rho A_2 v_2 dt$$

หรือ

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2.3)$$

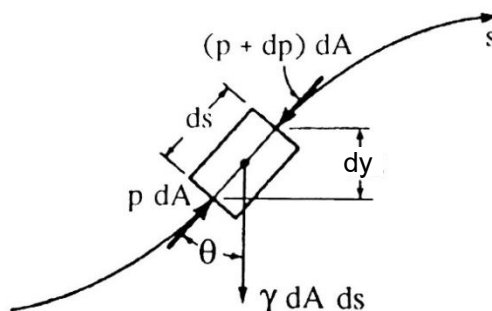
จากสมการ (2.2) Av คืออัตราการไหลเชิงปริมาตร (volume flow rate) ดังนั้นสมการ (2.3) จึงมีความหมายว่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ของไหลไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดใดๆ มีค่าคงที่ เรียกสมการ (2.3) ว่า สมการความต่อเนื่อง (continuity equation)

สมการความต่อเนื่องแสดงให้เห็นว่าเมื่อพื้นที่หน้าตัดของของไหลเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของของไหลจะลดลง ในทางกลับกันหากพื้นที่หน้าตัดของของไหลลดลง ของไหลจะมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้น

1.4 หลักการของแบร์นูลลี (Bernoulli's principle)

หลักการของแบร์นูลลี (Bernoulli's principle) อธิบายว่าสำหรับของไหลอุดมคติ ผลรวมของความดัน พลังงานจลน์ต่อปริมาตรและพลังงานศักย์ต่อปริมาตรของของไหลจะมีค่าคงที่ทุก ๆ จุด

บนเส้นกระแส สมการของแบร์นูลลีมีประโยชน์ในการนำมาใช้แก้ปัญหาต่างๆ เช่น ใช้ในการคำนวณหาความดันหรืออัตราเร็วของของไหลที่บริเวณต่างๆ ได้



ภาพประกอบ 3 อนุภาคของไหลอุดมคติ

ที่มา: สุนันท์, 2542

เมื่อพิจารณาการไหลของของไหลที่ไม่มีความเสียดทานและอัดตัวไม่ได้เมื่อมีการไหลแบบคงตัว (steady flow) จะเห็นว่าแรงที่กระทำต่ออนุภาคของไหลคือแรงจากความดันที่กระทำที่ปลายทั้งสองด้านของอนุภาคของไหล (สุนันท์, 2542)

จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน $\sum F = P.dA - (P + dP).dA = -dP.dA$ (2.4)

เมื่อ dA เป็นพื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับเส้นกระแส (streamline) ของอนุภาคของไหล นอกจากนี้ก็มีน้ำหนักของของไหล

$$W = -\rho g.ds.dA \cos\theta = -\rho g.ds.dA \left(\frac{dy}{ds}\right) \quad (2.5)$$

จากสมการ (2.5) จะได้

$$W = -\rho g.dA.dy \quad (2.6)$$

จากความสัมพันธ์

$$a = v \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial t} \quad (2.7)$$

เมื่อพิจารณาการไหลแบบคงตัว (steady flow) จะได้

$$-dp.dA - \rho g.dA.dy = (\rho.dA.ds)v \frac{dv}{ds} \quad (2.8)$$

หารสมการ (2.8) ด้วย $-\rho.dA$ จะได้

$$\frac{dP}{\rho} + v.dv + g.dy = 0 \quad (2.9)$$

ซึ่งสามารถจัดรูปได้ใหม่เป็น

$$\frac{dP}{\gamma} + d\left(\frac{v^2}{2g}\right) + dy = 0 \quad ; \gamma = \rho g$$

$$\int \frac{dP}{\gamma} + \int d\left(\frac{v^2}{2g}\right) + \int dy = \text{ค่าคงที่}$$

ดังนั้น

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + y = \text{ค่าคงที่} \quad (2.10)$$

- เมื่อ P คือ ความดัน (นิวตัน/ตารางเมตร)
 ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
 v คือ ความเร็วของของไหล (เมตร/วินาที)
 g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง มีค่าเท่ากับ 9.8 m/s^2
 y คือ ความสูงของของไหลที่จุดใดๆ (เมตร)

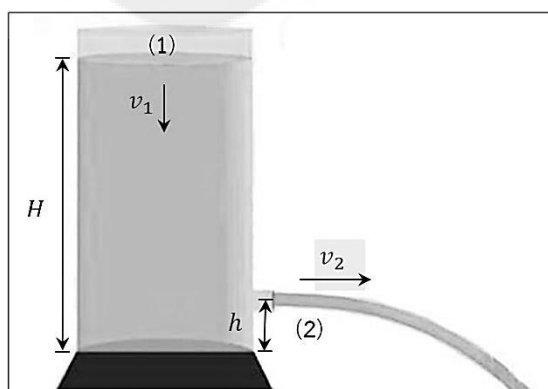
เรียกสมการ (2.10) ว่าสมการของแบร์นูลลี (Bernoulli's equation) ซึ่งมีความหมายว่า ผลรวมของความดัน พลังงานจลน์ต่อปริมาตรและพลังงานศักย์ต่อปริมาตรของของไหลในทุกๆ จุดบนเส้นกระแสจะมีค่าคงที่

1.5 การทดลองแท็งก์น้ำของทอริเซลลี

การทดลองแท็งก์น้ำของทอริเซลลีเป็นการทดลองอย่างง่ายที่คนทั่วไปรู้จักกันเป็นอย่างดี การทดลองแท็งก์น้ำของทอริเซลลีทำได้โดยการเจาะรูที่บริเวณด้านข้างของแท็งก์น้ำแล้วเติมน้ำให้มีความสูงค่าหนึ่ง เมื่อปล่อยให้ น้ำไหลออกจากรู ทำการสังเกตลำน้ำที่พุ่งออกจากรูที่เจาะไว้

อีวานเกลิสตา ทอริเซลลี (Evangelista Torricelli) ได้ทำการทดลองเจาะรูที่แท็งก์น้ำ และทำการคำนวณพบว่า อัตราเร็วของของไหลที่ไหลออกจากรูด้านข้างแท็งก์ซึ่งมีความสูงจากผิวน้ำถึงรูเปิดเป็นระยะ h ใดๆ จะเท่ากับอัตราเร็วของวัตถุที่ตกแบบเสรีจากระดับสูง h เท่ากันและไม่ขึ้นกับชนิดของของเหลว เรียกกฎนี้ว่า กฎของทอริเซลลี (Torricelli's Law) ในปัจจุบันกฎของทอริเซลลีสามารถพิสูจน์ได้จากสมการของแบร์นูลลี ดังนี้

พิจารณาน้ำที่ 2 ตำแหน่ง ได้แก่ น้ำในแท็งก์น้ำที่ลดลง (ตำแหน่งที่ 1) และน้ำที่พุ่งออกจากรูเปิด (ตำแหน่งที่ 2)



ภาพประกอบ 4 แท็งก์น้ำของทอริเซลลี

จะได้สมการดังนี้

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g H = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h \quad (2.11)$$

เมื่อ P_1 คือ ความดันบรรยากาศเหนือท่อ (นิวตัน/ตารางเมตร)
 P_2 คือ ความดันบรรยากาศบริเวณที่น้ำพุ่งออก (นิวตัน/ตารางเมตร)
 v_1 คือ ความเร็วของน้ำในท่อที่ลดลง (เมตร/วินาที)
 v_2 คือ ความเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากรูเปิด (เมตร/วินาที)
 H คือ ความสูงของน้ำในท่อ (เมตร)
 h คือ ความสูงของรูเปิด (เมตร)

เมื่อหา v_1 ในรูปของ v_2 โดยใช้สมการความต่อเนื่อง

$$v_1 = \left(\frac{A_2}{A_1} \right) v_2$$

แล้วแทนค่า v_1 ในสมการของแบร์นูลลีจะได้

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 v_2^2 + \rho g H = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h$$

เนื่องจาก $P_1 = P_2 =$ ความดันบรรยากาศ ดังนั้น

$$\frac{1}{2} \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 v_2^2 + g H = \frac{1}{2} v_2^2 + g h$$

$$\frac{v_2^2}{2} \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] = g(H - h)$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$v_2 = \sqrt{\frac{A_1^2}{A_1^2 - A_2^2} \cdot 2g(H - h)}$$

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ในงานวิจัยนี้พื้นที่ตัดขวางของแท่งกั้นน้ำ (A_1) มีขนาด 399.8156 ตารางเซนติเมตร และพื้นที่ตัดขวางของรูเปิด (A_2) มีขนาด 0.3925 ตารางเซนติเมตร จะเห็นว่าเมื่อแทนค่า A_1 และ A_2 ในสมการข้างต้นโดย

$$\sqrt{\frac{A_1^2}{A_1^2 - A_2^2}} = 1.00000096 \approx 1$$

จะได้สมการซึ่งอธิบายกฎของทอริเชลลีดังนี้

$$v_2 = \sqrt{2g(H(t) - h)} \quad (2.12)$$

1.6 ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ

เนื่องจากสมการของแบร์นูลลีและกฎของทอริริเซลลีจะเป็นจริงก็ต่อเมื่อของไหลที่พิจารณานั้นเป็นของไหลอุดมคติและท่อเป็นท่ออุดมคติ เช่น ภายในท่อเรียบและไม่มีความเสียดทาน และผนังท่อบริเวณรูเปิดบาง เป็นต้น ดังนั้นในการทดลองจริงผลการทดลองจะคลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎีไม่มากนักขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ และด้วยเหตุนี้จึงมีการนิยามสัมประสิทธิ์ต่างๆ ขึ้นเพื่ออธิบายผลการทดลอง ได้แก่ สัมประสิทธิ์ความเร็ว (velocity coefficient), สัมประสิทธิ์การหด (contraction coefficient) และสัมประสิทธิ์การจ่าย (discharge coefficient) (Hamill L. 2001)

สัมประสิทธิ์ความเร็ว (velocity coefficient; C_v) คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองต่ออัตราเร็วที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีสำหรับของไหลอุดมคติ สำหรับการทดลองแท็งก์น้ำของทอริริเซลลี

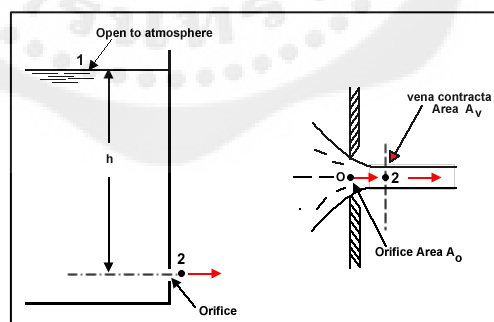
$$C_v = u_2 / \sqrt{2g(H-h)}$$

นั่นคือความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่พุ่งออกจากรูเปิด (u_2) สามารถเขียนได้เป็น

$$u_2 = C_v \sqrt{2g(H-h)} \quad (2.13)$$

เมื่อ $C_v \leq 1$ ($C_v = 1$ ในกรณีของไหลอุดมคติ)

เมื่อพิจารณาน้ำที่พุ่งออกจากรูเปิดขอบคม (sharp-edged orifice) ดังภาพประกอบ 5 ลำน้ำจะมีขนาดเล็กลงจนถึงจุดหนึ่งลำน้ำจะขนานกันไป จุดที่ลำน้ำเริ่มขนานเรียกว่า “การรัดวีนา (Vena contracta)” ซึ่งจะอยู่ที่ตำแหน่งประมาณ 0.5-1 เท่าของความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเปิด



ภาพประกอบ 5 ของไหลในแท็งก์ที่มีรูเปิดด้านข้าง (ซ้าย) และของไหลที่พุ่งออกจากรูเปิดขอบคม (ขวา)

สัมประสิทธิ์การหด (contraction coefficient; C_c) คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ตัดขวางของของไหลที่จุดการรั่วไหลต่อพื้นที่หน้าตัดของรูเปิดซึ่งแทนด้วยสมการ

$$C_c = \frac{A_v}{A_o} \quad (2.14)$$

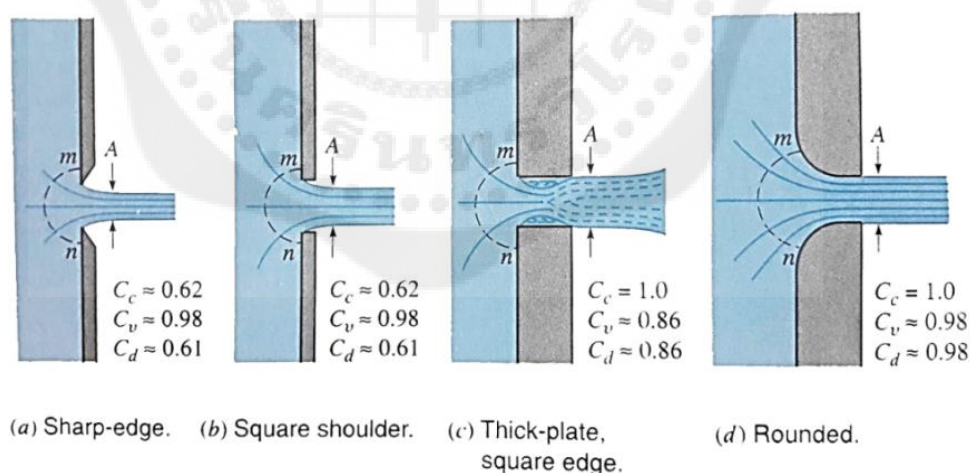
เมื่อ A_v คือ พื้นที่หน้าตัดบริเวณการรั่วไหล
 A_o คือ พื้นที่หน้าตัดของรูเปิด

สัมประสิทธิ์การจ่าย (discharge coefficient; C_d) คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ได้จากการทดลองต่ออัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ได้จากทฤษฎีสำหรับของไหลอุดมคติซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การหด และค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว นั่นคือ

$$C_d = C_c C_v \quad (2.15)$$

1.7 ลักษณะของรูเปิด (orifice) แบบต่าง ๆ

การไหลของของไหลจากแท่งก้นน้ำออกสู่รูเปิดจะเกิดการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งบริเวณปากทาง ส่งผลให้เกิดลำน้ำลักษณะต่าง ๆ ลักษณะของรูเปิดมีผลต่อการสูญเสียพลังงานที่แตกต่างกัน รูเปิดจำแนกได้หลายประเภทตามลักษณะของรูและความหนาของผนัง (Joseph B. Franzini, 1997) ในงานวิจัยนี้ลำน้ำที่ออกจากรูเปิดอาจแตกต่างจากในรูปเล็กน้อยดังภาพประกอบ 6 เมื่อระดับน้ำลดลงเข้าใกล้รูเปิด โดยเส้นกระแสมักจะสูญเสียสมมาตรไปเล็กน้อยรอบรูเปิด



ภาพประกอบ 6 สัมประสิทธิ์ต่างๆ ของรูเปิดแบบต่างๆ

ที่มา: Joseph B. Franzini, 1997

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับแท่งก้นน้ำที่มีผนังหนา 6 มิลลิเมตร โดยเจาะรูเปิดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ซึ่งจะเรียกรูเปิดนี้ว่า “รูเปิดขอบกึ่งคม (semi-sharp edge orifice)” เพราะน้ำที่ไหลผ่านรูเปิดจะมีพฤติกรรมคาบเกี่ยวระหว่างรูปแบบของ (b) และ (c) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าในขณะนั้นระดับของผิวน้ำอยู่สูงจากรูเปิดเท่าใด รายละเอียดและผลการทดลองในประเด็นนี้จะกล่าวถึงอีกครั้งหนึ่งในบทที่ 4

1.8 เลขเรย์โนลด์ (Reynolds number; Re)

ในปี ค.ศ. 1883 ออสบอร์น เรย์โนลด์ (Osborne Reynolds) ทำการทดลองการไหลของของไหลในท่อพบว่า เมื่อการไหลมีความเร็วต่ำ เส้นกระแสของการไหลจะราบเรียบเป็นเส้นตรงหนึ่งเหมือนไม่มีการเคลื่อนไหว แต่เมื่อเพิ่มความเร็วของการไหลขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงค่าหนึ่ง เส้นกระแสจะเริ่มสั่น ไม่เป็นระเบียบและเป็นคลื่น และเมื่อเพิ่มความเร็วมากยิ่งขึ้นเส้นกระแสจะยิ่งสั่นมากและกระจายไปทั่วหน้าตัดของท่อ เรย์โนลด์สรุปผลการทดลองนี้ว่าสำหรับของไหลที่ไหลภายในท่อ เมื่อของไหลไหลด้วยความเร็วต่ำ อนุภาคของของไหลจะเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ ไม่ปะปนกัน เรียกว่า “การไหลแบบราบเรียบ (laminar flow)” แต่เมื่อของไหลไหลด้วยความเร็วสูง อนุภาคของของไหลจะเคลื่อนที่ไม่เป็นระเบียบ ปะปนกัน เรียกว่า “การไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow)” สำหรับช่วงที่การไหลมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วนจะเรียกสภาวะนั้นว่า “การไหลแบบช่วงต่อ (transition flow)” เรย์โนลด์ค้นพบว่า ลักษณะการไหลของของไหลเป็นผลมาจากความหนืด ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} = \frac{u D}{\nu} \quad (2.16)$$

เมื่อ	Re คือ เลขเรย์โนลด์
	ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
	u คือ อัตราเร็วของของไหลที่ไหลออกจากรู (เซนติเมตร/วินาที)
	D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรู (เซนติเมตร)
	μ คือ ความหนืดพลวัต (dynamic viscosity)
	ความหนืดพลวัตของน้ำมีค่าเท่ากับ 0.008324 g/cm s
	ν คือ ความหนืดจลน์ (kinematic viscosity)
	ความหนืดจลน์ของน้ำมีค่าเท่ากับ 0.00836 cm ² /s

ลักษณะการไหลของของไหลสามารถแบ่งได้ตามค่าของเลขเรย์โนลด์ ดังนี้

1. เลขเรย์โนลด์มีค่าน้อยกว่า 2000 เป็นการไหลแบบราบเรียบ
2. เลขเรย์โนลด์มีค่าระหว่าง 2000-4000 เป็นการไหลแบบช่วงต่อ
3. เลขเรย์โนลด์มีค่ามากกว่า 4000 เป็นการไหลแบบปั่นป่วน

1.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลองแท็งก์น้ำของของทอริเชลลี

การทดลองแท็งก์น้ำของทอริเชลลีเป็นหัวข้อที่มีการนำมาทำวิจัยในรูปแบบที่แตกต่างและหลากหลายซึ่งล้วนเป็นเรื่องราวที่น่าสนใจ ดังต่อไปนี้

Alan Bates (2013) ทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลความสัมพันธ์ของความสูงและความดันของของไหล โดยออกแบบอุปกรณ์การทดลองและใช้เซ็นเซอร์วัดความดันร่วมกับเซ็นเซอร์วัดการเคลื่อนที่ พบว่าอุปกรณ์และการทดลองดังกล่าวช่วยให้สามารถวัดความสูงและความดันของของไหลพร้อมกันได้ สามารถประมาณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้ ซึ่งค่าที่ได้มีความสอดคล้องกับทฤษฎีและยังสามารถคำนวณหาค่าความหนาแน่นของของไหลชนิดต่างๆ ได้นอกจากนี้แท็งก์น้ำของทอริเชลลีที่ใช้ในการทดลองยังสามารถนำมาศึกษาสมบัติต่างๆ ของของไหลต่อไปได้อีกด้วย

Taha Massalha (2014) ได้ทำการศึกษาอัตราเร็วในการไหลของของไหลที่ไหลออกจากแท็งก์น้ำผ่านหลอดแก้วที่ต่อกับรูเปิดด้านข้างของแท็งก์น้ำ โดยหลอดแก้วมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตรและมีอัตราส่วนระหว่างความยาวหลอดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.5 และ 10 และใช้ของไหลสองชนิดที่มีความตึงผิวและความหนืดต่างกัน ได้แก่ น้ำและเอทิลแอลกอฮอล์ ทำการวัดอัตราเร็วในการไหลต่อความสูงจากระดับผิวน้ำถึงหลอดแก้วโดยใช้เซ็นเซอร์วัดแรง พบว่าอัตราเร็วในการไหลของน้ำมีค่ามากกว่าอัตราเร็วในการไหลของเอทิลแอลกอฮอล์เล็กน้อย และของไหลที่ไหลผ่านหลอดแก้วที่ยาวกว่าจะไหลได้ช้ากว่าของไหลที่ไหลผ่านหลอดแก้วสั้น

Vjera Lopac (2015) ศึกษาลักษณะของลำน้ำที่ไหลออกจากรูด้านข้างแท็งก์น้ำรูปทรงต่างๆ ได้แก่ ทรงกระบอก ถังน้ำทรงกรวย ถังบาร์เรล และแจกัน โดยคำนวณหาระยะที่น้ำตกลงบนพื้นในกรณีที่แท็งก์น้ำเป็นรูปทรงต่างๆ พบว่า ระยะที่ลำน้ำพุ่งออกไปเท่ากับศูนย์เมื่อรูเปิดอยู่ที่ระดับผิวน้ำและที่ก้นแท็งก์ สำหรับแท็งก์น้ำทุกแบบ ยกเว้นถังน้ำทรงกรวย ระยะที่ลำน้ำพุ่งไปได้เท่ากับศูนย์สำหรับแท็งก์น้ำทุกแบบยกเว้นถังน้ำทรงกรวย สามารถแบ่งลักษณะการไหลของลำน้ำได้ 3 กรณี คือ กรณีที่ระยะของลำน้ำแปรผันตามความสูงของรูเปิด กรณีที่ลำน้ำไปได้ระยะไกลที่สุดเฉพาะบางรูเปิด และกรณีที่แท็งก์น้ำมีรูปทรงที่ซับซ้อน เช่น แจกัน จะมีรูเปิดที่ทำให้ลำน้ำพุ่งไปได้ไกลและไกลที่สุดได้หลายความสูงขึ้นอยู่กับรูปทรงของแท็งก์น้ำนั้น

2. การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย (Predict-Share-Observe-Explain; PSOE)

การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย (Predict-Share-Observe-Explain; PSOE) เป็นการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ (Constructivist) คือ นักเรียนเรียนรู้และสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองจากประสบการณ์เดิมเชื่อมโยงกับประสบการณ์ใหม่ การเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย ถูกพัฒนามาจากการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย

(Predict-Observe-Explain; POE) ซึ่งเป็นจัดการการเรียนรู้ที่ยกสถานการณ์ปัญหาขึ้นมาให้นักเรียนทำนายเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นโดยใช้พื้นฐานความรู้เดิม จากนั้นสังเกตการทดลองหรือสาธิตและอธิบายให้ได้ว่าผลการทำนายกับผลการสังเกตมีความสอดคล้องกันหรือไม่ เพราะเหตุใด (White; & Gunstone. 1992) เนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายมีขั้นตอนการเรียนรู้ที่สอดคล้องและส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นอย่างดี ทำให้ได้รับความนิยมและได้ผลดีมากโดยเฉพาะการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์ จึงมีงานวิจัยมากมายทั้งในประเทศและต่างประเทศที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย อาทิเช่น

Kedibone Magdeline Tlala (2011) ที่ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย เรื่อง การละลายของเกลือเปรียบเทียบกับการสอนแบบปกติ พบว่า นักเรียนที่ได้เรียนแบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย มีแนวคิดวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการละลายของเกลือมากกว่านักเรียนที่เรียนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญ และการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายช่วยให้นักเรียนพัฒนาโมเดลเกี่ยวกับการละลายของเกลือมากขึ้น

พัชรารินทร์ เกลี้ยงนวล (2556) ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย ร่วมกับเทคนิคผังกราฟิก โดยทำการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนเขาชัยสน อำเภอชัยสน จังหวัดพัทลุง จำนวน 31 คน พบว่าเมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายร่วมกับเทคนิคผังกราฟิก นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายร่วมกับเทคนิคผังกราฟิก โดยมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากในทุกด้าน

นัชชา แดงงาม (2557) ได้ทำการศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย ร่วมกับการสาธิตอย่างง่าย เรื่องการเคลื่อนที่แบบหมุน โดยทำการทดลองกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนกัลยาณีศรีธรรมราช จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 30 คน พบว่าหลังจากจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย นักเรียนมีความคิดรวบยอดเรื่องการเคลื่อนที่แบบหมุนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 และมีการพัฒนาความคิดรวบยอดรายชั้นอยู่ในระดับปานกลาง

ภูสิทธิ์ จันทนา (2558) ทำการศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย ร่วมกับชุดการทดลองการต่อวงจรจากแผนภาพวงจร โดยทำการศึกษาแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่ายกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนเลยพิทยาคม อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย จำนวน 30 คน พบว่าหลังการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 และมีความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเฉลี่ยในระดับปานกลาง

Patrick L. Brown (2015: 19-21) ศึกษาการจัดการเรียนรู้เรื่องอุณหภูมิและความดัน ด้วยวิธีทำนาย-อธิบาย-สังเกต-อธิบาย (PSOE) โดยมีวัตถุประสงค์ให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยง

ความรู้เรื่องอุณหภูมิ ความดันและปริมาตรของแก๊ส กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน พบว่าจากการจัดการเรียนรู้นี้ นักเรียนสามารถเชื่อมโยงกิจกรรมต่างๆ และพัฒนาความเข้าใจในเนื้อหา และทักษะการคิดเชิงวิพากษ์เพื่อสร้างคำอธิบายจากหลักฐานได้

Katie Sard (2014) ได้จัดทำแผนการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่อง การตรวจสอบน้ำขึ้นน้ำลง ในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1 และ 2 เพื่อให้นักเรียนเข้าใจการเกิดและวิธีการตรวจสอบปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลง โดยให้นักเรียนทำนายความสำคัญและการทำงานของระบบตรวจสอบน้ำขึ้นน้ำลง แล้วให้นักเรียนจับคู่เพื่ออภิปรายร่วมกัน เมื่อคนหนึ่งพูดอยู่อีกคนหนึ่ง จะทำการจดบันทึก จากนั้นนักเรียนสืบค้นข้อมูลผ่านเว็บไซต์ http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/tides09_monitor.html เพื่อศึกษาระบบการตรวจสอบน้ำขึ้นน้ำลงแล้วนำมาเปรียบเทียบกับสิ่งที่นักเรียนได้ทำนายไว้ โดยนักเรียนต้องอธิบายให้ได้ว่าสิ่งที่เรียนรู้ใหม่กับสิ่งที่ทำนายสอดคล้องกันหรือไม่ และนักเรียนได้เรียนรู้อะไรใหม่บ้าง

การเรียนรู้ด้วยตนเองเป็นการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและให้ผลดี แต่จะดีกว่าหรือไม่ หากมีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์และความรู้กับผู้อื่น เป็นการเรียนรู้ร่วมกันเพื่อให้ได้แนวความคิด การคิดเห็นและข้อมูลในหลากหลายมุมมอง การได้อภิปรายแลกเปลี่ยนความรู้กับผู้อื่นยังเป็นการส่งเสริมทักษะการสื่อสารและทักษะการทำงานร่วมกันซึ่งเป็นทักษะสำคัญในศตวรรษที่ 21 อีกด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย โดยเพิ่มขั้นตอนการอภิปรายเพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้ที่จะยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นและกล้าแสดงความคิดเห็นของตนเองมากขึ้น

การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

- 1) ขั้นทำนาย (Predict) เป็นขั้นตอนที่ให้นักเรียนทำนายสิ่งที่จะเกิดขึ้นจากสถานการณ์ปัญหาที่กำหนดขึ้น
- 2) ขั้นอภิปราย (Share) เป็นขั้นตอนที่ให้นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับนักเรียนคนอื่นในชั้นเรียน ในขั้นตอนนี้นักเรียนจะได้พัฒนาทักษะการทำงานร่วมกับผู้อื่นและได้เรียนรู้ที่จะรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นอีกด้วย
- 3) ขั้นสังเกต (Observe) เป็นขั้นตอนที่ให้นักเรียนได้หาคำตอบโดยการสังเกตผลการทดลองหรือสิ่งที่เกิดขึ้นในสถานการณ์นั้นๆ
- 4) ขั้นตอนอธิบาย (Explain) เป็นขั้นตอนที่ให้นักเรียนอธิบายผลการสังเกตหรือผลการทดลองว่าเหมือนหรือแตกต่างจากที่ทำนายหรือไม่ อย่างไร และให้เหตุผลประกอบ โดยนักเรียนสามารถสืบค้นข้อมูลได้อย่างอิสระ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ มีวิธีการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังนี้

1. การศึกษารูปแบบระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแท็งก์น้ำของทอรรีเซลล์
 - 1.1 การคำนวณทางทฤษฎี
 - 1.2 การออกแบบอุปกรณ์การทดลองแท็งก์น้ำของทอรรีเซลล์
 - 1.3 การทดลองแท็งก์น้ำของทอรรีเซลล์เพื่อเก็บข้อมูลผลการทดลอง
2. การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่องการทดลองแท็งก์น้ำของทอรรีเซลล์
 - 2.1 การกำหนดกลุ่มตัวอย่าง
 - 2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
 - 2.3 การสร้างเครื่องมือในการวิจัย
 - 2.4 แบบแผนที่ใช้ในการวิจัย
 - 2.5 การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล
 - 2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การศึกษารูปแบบระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแท็งก์น้ำของทอรรีเซลล์

1.1 การคำนวณทางทฤษฎี

ทำการคำนวณสมการทางคณิตศาสตร์โดยใช้กฎของทอรรีเซลล์ สมการความต่อเนื่อง และสมการการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ เพื่อหารูปแบบของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในทางทฤษฎี

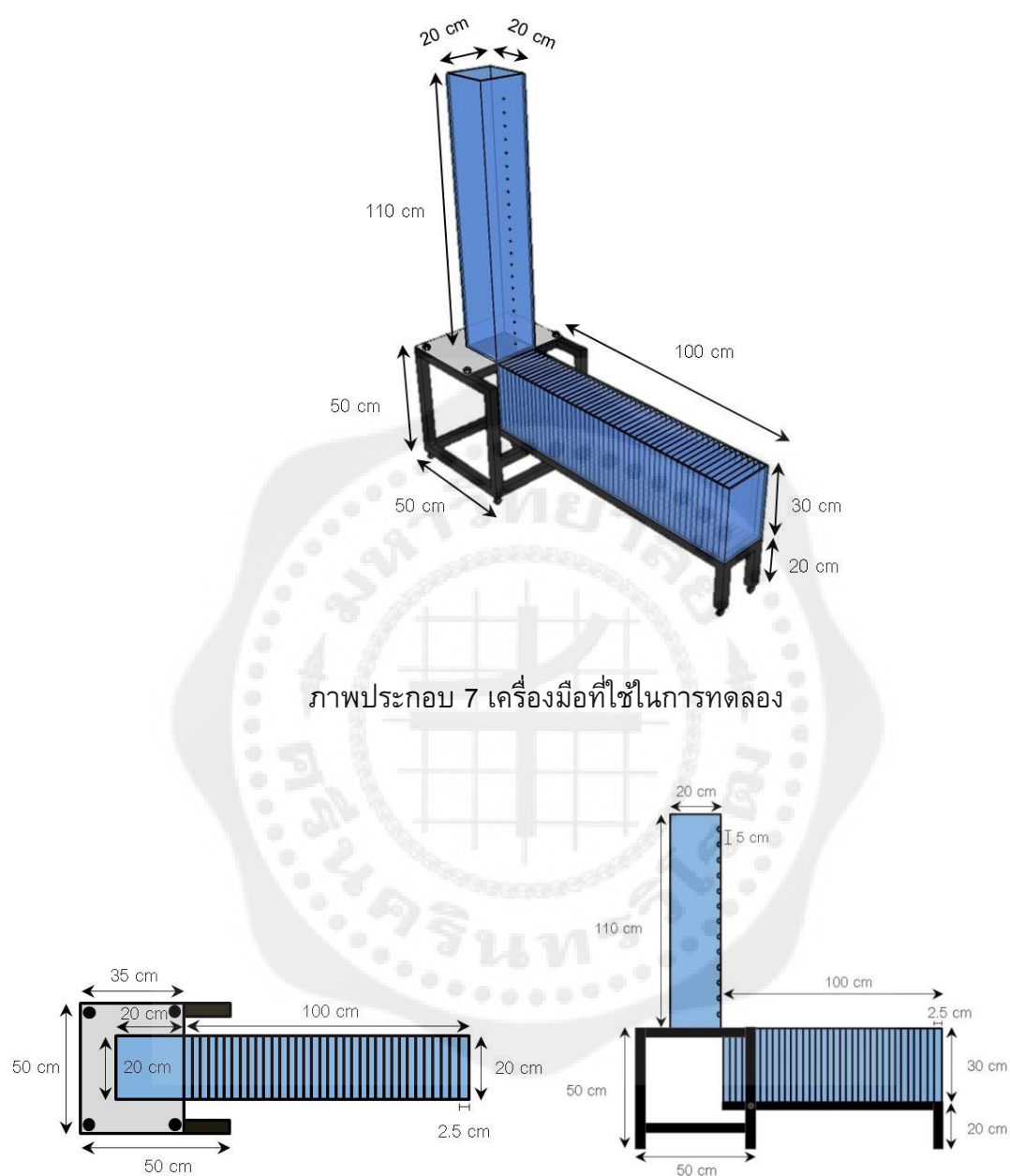
1.2 การออกแบบอุปกรณ์การทดลองแท็งก์น้ำของทอรรีเซลล์

ออกแบบอุปกรณ์การทดลองแท็งก์น้ำของทอรรีเซลล์เพื่อทำการทดลองเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎี โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.2.1 วัสดุที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์

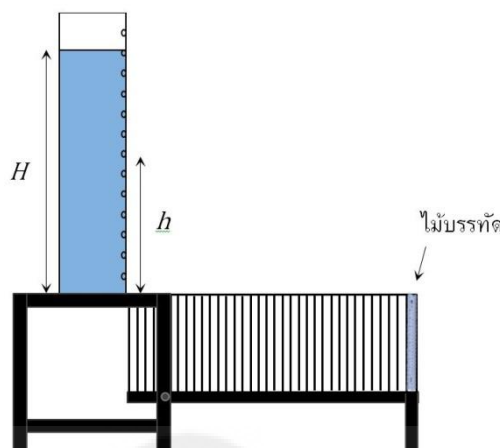
1. แผ่นอะคริลิกหนา 0.6 cm (ใช้ทำแท็งก์น้ำและผนังด้านนอกของช่องเก็บน้ำ)
2. แผ่นอะคริลิกหนา 0.2 cm (ใช้ทำแผ่นกั้นช่องเก็บน้ำ)
3. เหล็กกล่อง
4. เหล็กฉาก

1.2.2 การออกแบบอุปกรณ์การทดลองแท่งก้น้ำของทอริริเซลลี



ภาพประกอบ 8 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองด้านบน (ซ้าย) และด้านข้าง (ขวา)

1.3 การทดลองแท่งกั้นน้ำของทอริเชลลีเพื่อเก็บข้อมูลผลการทดลอง



ภาพประกอบ 9 การจัดเครื่องมือการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองเพื่อหารูปแบบของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ

1. จัดอุปกรณ์ดังภาพประกอบ 9
2. เติมน้ำในท่อให้สูง $H(t) = 100$ เซนติเมตร (ในทางปฏิบัติ ผู้วิจัยจะเติมน้ำให้สูงกว่า 100 เซนติเมตรเล็กน้อย เพื่อให้ลำน้ำไหลอย่างคงตัวเมื่อเริ่มวัดที่ผิวน้ำอยู่ในระดับความสูง 100 เซนติเมตรพอดี)
3. เปิดจุกยางที่ปิโตร ที่ความสูง h ต่างๆ ได้แก่ $h = 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70$ และ 75 เซนติเมตร
4. สังเกตการไหลของน้ำจากรูที่ความสูงต่างๆ จนน้ำหยุดไหล
5. ทำการทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้ง
6. วัดระดับความสูงของน้ำในรางแต่ละช่องตามขั้นตอนดังต่อไปนี้
 - 6.1 ถ่ายภาพระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ
 - 6.2 วัดความสูงของน้ำในช่องเก็บน้ำแต่ละช่องด้วยโปรแกรม imageJ โดยอ้างอิงจากความยาวของไม้บรรทัด หาค่าเฉลี่ยความสูงของน้ำจากการทดลอง 10 ครั้ง
 - 6.3 หาแถบความคลาดเคลื่อน (Error bar) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการทดลองทั้ง 10 ครั้ง (แสดงตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ก)
7. เปรียบเทียบผลระดับน้ำที่ได้จากการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎี
8. คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว
 - 8.1 นำระดับน้ำที่ได้มาพลอตกราฟ
 - 8.2 พล็อตกราฟเส้นตรงโดยใช้โปรแกรม microsoft excel โดยพล็อตกราฟค่าเฉลี่ยค่าสูงสุด (max line) และค่าต่ำสุด (min line)

8.3 ใช้ความชันของกราฟค่าเฉลี่ยเพื่อหาค่า C_v

8.4 ใช้ความชันของกราฟค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดเพื่อหาค่าความไม่แน่นอนของ C_v

9. คำนวณเลขเรย์โนลด์

9.1 จากสมการ $Re = \frac{u_2 D}{\nu}$

เมื่อ Re คือ เลขเรย์โนลด์

u_2 คือ อัตราเร็วเฉลี่ยของของไหลที่ไหลออกจากรูเปิด
(เซนติเมตร/วินาที)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรูเปิด (เซนติเมตร)

ν คือ ความหนืดจลน์ (kinematic viscosity)

มีค่าเท่ากับ 0.00836 เซนติเมตร²/วินาที

9.2 หาค่าความไม่แน่นอนของเลขเรย์โนลด์

2. การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่องการทดลอง แท็งก์น้ำของ ทอริริเซลลี

2.1 การกำหนดกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนน่านนคร จังหวัดน่าน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 1 ห้องเรียน (จำนวน 24 คน) ได้จากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

1. เอกสารประกอบการเรียนเรื่องของไหล
2. แผนการจัดการเรียนรู้เรื่องแท็งก์น้ำของทอริริเซลลี (จำนวน 2 แผน 4 คาบ คาบละ 50 นาที)

3. แบบทดสอบ จำนวน 19 ข้อ (ดูภาคผนวก ค) ประกอบด้วย

3.1 แบบทดสอบแบบเลือกตอบสองลำดับชั้น (two-tier multiple choice question test) จำนวน 13 ข้อ ประกอบด้วย คำถามวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่อง การทดลองแท็งก์น้ำของทอริริเซลลี จำนวน 3 ข้อ และคำถามเกี่ยวกับของไหลเรื่องอื่นๆ ได้แก่ ความหนาแน่น ความดัน สมการความต่อเนื่อง สมการของแบร์นูลลีและการประยุกต์ใช้สมการของแบร์นูลลี จำนวน 10 ข้อ

3.2 แบบทดสอบแบบอัตนัย (subjective question test) เรื่องของไหล 6 ข้อ

2.3 การสร้างเครื่องมือในการวิจัย

2.3.1 การสร้างเอกสารประกอบการเรียนเรื่องของไหลและแผนการจัดการเรียนรู้เรื่องแท่งก้นน้ำของทอริริเซลลี

1. ศึกษารายละเอียดเนื้อหาและแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย

2. กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ที่สอดคล้องกับเนื้อหาและการจัดการเรียนรู้

3. จัดทำเอกสารประกอบการเรียนเรื่องของไหล

4. จัดทำแผนการจัดการเรียนรู้เรื่องแท่งก้นน้ำของทอริริเซลลี

5. นำเอกสารประกอบการเรียนเรื่องของไหล และแผนการจัดการเรียนรู้เรื่องการทดลองแท่งก้นน้ำของทอริริเซลลีเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของเนื้อหา ภาษาและกิจกรรม และวิเคราะห์ความสอดคล้องของแผนการจัดการเรียนรู้กับจุดประสงค์การเรียนรู้ (IOC) โดยใช้เกณฑ์ +1 หมายถึง เหมาะสม 0 หมายถึง ไม่แน่ใจ และ -1 หมายถึง ไม่เหมาะสม เมื่อหาค่าเฉลี่ยของผู้เชี่ยวชาญทั้งสามคน ค่าความสอดคล้องควรมีค่าเท่ากับ 0.67-1.00 จึงจะถือว่าเหมาะสม

6. ปรับปรุงแก้ไขแผนการจัดการเรียนรู้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

2.3.2 การสร้างแบบทดสอบเรื่องของไหล

1. ศึกษาและวิเคราะห์เนื้อหาตามหลักสูตรเพื่อสร้างแบบทดสอบให้สอดคล้องกับเนื้อหา

2. สร้างแบบทดสอบเพื่อวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์เรื่องของไหล

3. นำแบบทดสอบเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและสอดคล้องกับเนื้อหาตามจุดประสงค์การเรียนรู้ (IOC)

4. ปรับปรุงแก้ไขแบบทดสอบตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

5. นำแบบทดสอบไปทดลองใช้กับนักเรียนกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง 89 คน

6. นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r)

7. นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์หาความเชื่อมั่น (Reliability) โดยใช้สูตร KR-20 ของแบบทดสอบแบบเลือกตอบสองลำดับขั้นและแบบทดสอบแบบอันดับได้เท่ากับ 0.663 และ 0.701 ตามลำดับ

8. นำแบบทดสอบเรื่องของไหลไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

2.4 แบบแผนที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยนี้ดำเนินการทดลองตามแบบแผนการทดลอง one group pretest-posttest design ซึ่งมีแบบแผนการทดลองดังนี้

กลุ่มทดลอง	สอบก่อนเรียน	ตัวแปรอิสระ	สอบหลังเรียน
E	T ₁	X	T ₂

สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนการทดลอง

E แทน กลุ่มทดลอง

T₁ แทน การทดสอบก่อนการทดลอง (pre-test)

T₂ แทน การทดสอบหลังการทดลอง (post-test)

X แทน การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย

2.5 การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ทดสอบก่อนเรียน (pre-test) โดยใช้แบบทดสอบ เรื่อง ของไหล
2. ดำเนินการทดลองตามแผนการจัดการเรียนรู้เป็นเวลา 4 คาบ
3. เมื่อจัดการเรียนรู้ตามแผนแล้ว ทำการทดสอบหลังเรียน (post-test) โดยใช้แบบทดสอบชุดเดียวกับการทดสอบก่อนเรียน
4. หลังจากสิ้นสุดการเรียนรู้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการทดสอบอีกครั้งด้วยแบบทดสอบชุดเดียวกับแบบทดสอบก่อนและหลังเรียน เพื่อทดสอบค่าความคงทนของความรู้
5. นำผลการทดสอบที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐาน

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์คุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิเคราะห์คุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย การหาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ค่าดัชนีความสอดคล้องของเครื่องมือ (IOC) ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจการจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบโดยใช้สูตร KR-20

- 1.1 หาค่าดัชนีความสอดคล้องของเครื่องมือกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (IOC)

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้อง

$\sum R$ แทน ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

ค่าดัชนีความสอดคล้องของการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่อง การทดลองแก๊งก์น้ำของทอริริเชลลี และเอกสารประกอบการเรียนเรื่องของไหล เท่ากับ 1

- 1.2 หาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจการจำแนก (r) ของแบบทดสอบรายข้อ

- 1.3 หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ โดยใช้สูตร KR-20

2. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

2.1 การวิเคราะห์แนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเรื่องการทดลองแก๊งก์น้ำของทอริริเซลลี

วิเคราะห์จากแบบทดสอบเรื่องแก๊งก์น้ำของทอริริเซลลี จำนวน 3 ข้อ (ที่รวมอยู่ในแบบทดสอบ 19 ข้อ) โดยจัดระดับความเข้าใจของนักเรียนตามระดับแนวคิดวิทยาศาสตร์ (Songumpai N., 2016) ดังนี้

1) กลุ่มที่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ถูกต้อง (complete understanding: CU) คือ นักเรียนสามารถเลือกคำตอบที่ถูกต้องและให้เหตุผลได้อย่างถูกต้องครบถ้วน

2) กลุ่มที่มีแนวคิดถูกต้องบางส่วน (partial understanding: PU) คือ นักเรียนสามารถเลือกตอบได้ถูกต้อง แต่อธิบายเหตุผลไม่ครบถ้วนหรือถูกต้องบางส่วน

3) กลุ่มที่มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (misunderstanding: MU) คือ นักเรียนเลือกคำตอบได้ถูกต้องแต่ให้เหตุผลไม่ถูกต้อง หรือนักเรียนเลือกคำตอบไม่ถูกต้องแต่ให้เหตุผลได้ถูกต้องหรือให้เหตุผลถูกต้องบางส่วน

4) กลุ่มที่มีแนวคิดไม่ถูกต้อง (no understanding: NU) คือ นักเรียนเลือกคำตอบไม่ถูกต้องและอธิบายเหตุผลไม่ถูกต้อง

2.2 การวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ของนักเรียน เรื่องของไหล

เปรียบเทียบผลการทดสอบก่อนและหลังการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่องการทดลองแก๊งก์น้ำของทอริริเซลลี โดยใช้สถิติ t-test for dependent samples ที่ระดับ $p=0.05$

2.3 การวิเคราะห์ความคงทนของความรู้

เปรียบเทียบผลการทดสอบหลังเรียนทันทีและหลังเรียนเป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยใช้สถิติ t-test for dependent samples ที่ระดับ $p=0.05$

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัญหารูปแบบระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแท่งกั้นน้ำของทอร์ริเชลลี และการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่อง การทดลองแท่งกั้นน้ำของทอร์ริเชลลีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในรายวิชาฟิสิกส์ ซึ่งมีผลการทดลองดังหัวข้อต่อไปนี้

1. ผลการศึกษารูปแบบระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแท่งกั้นน้ำของทอร์ริเชลลี

1.1 ผลการคำนวณทางทฤษฎี

1.2 ผลการทดลองระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ

1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว (C_v)

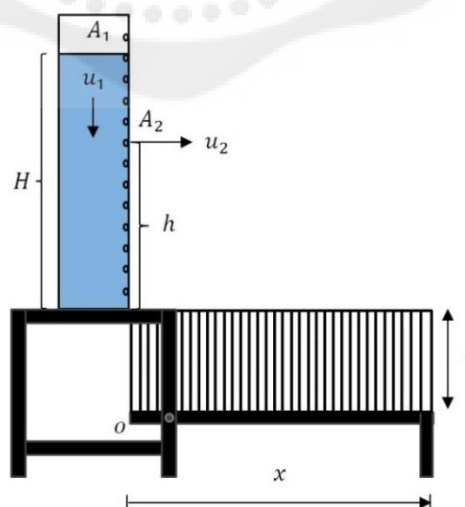
1.4 ผลการวิเคราะห์เลขเรย์โนลด์

2. ผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่องการทดลองแท่งกั้นน้ำของทอร์ริเชลลี

1. ผลการศึกษารูปแบบระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแท่งกั้นน้ำของทอร์ริเชลลี

1.1 ผลการคำนวณทางทฤษฎี

ผู้วิจัยทำการคำนวณสมทางคณิตศาสตร์โดยใช้กฎของทอร์ริเชลลี สมการความต่อเนื่อง และสมการการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ซึ่งกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ดังภาพประกอบ 10 เพื่อคำนวณหาระดับน้ำในช่องเก็บน้ำที่ระยะต่างๆ



ภาพประกอบ 10 อุปกรณ์การทดลอง

พิจารณาอัตราการลดลงของน้ำในแท็งก์ซึ่งเท่ากับอัตราการไหลที่น้ำไหลออกจากรู

$$A_1 u_1 = A_2^{(c)} u_2$$

เมื่อ $A_2^{(c)} = C_c A_2$ คือ พื้นที่ตัดขวางที่จุดการรั่วไหล แทนสมการ (2.13) [หมายเหตุ

$u_2 = C_v \sqrt{2g(H-h)}$; $C_v \leq 1$ ($C_v = 1$ ในกรณีของไหลอุดมคติ)] ในสมการข้างต้น จะได้

$$-A_1 \frac{dH(t)}{dt} = C_d A_2 \sqrt{2g(H(t)-h)} \quad ; C_d = C_c C_v, t \geq 0$$

$$\frac{1}{\sqrt{H(t)-h}} dH(t) = -C_d \frac{A_2}{A_1} \sqrt{2g} dt$$

อินทิเกรตจะได้ $2\sqrt{H(t)-h} + c = -\sqrt{2g} C_d \frac{A_2}{A_1} t$ (4.1)

กำหนดให้ $s(t) = H(t) - h$ และ $s_0 = s(t=0)$

จะได้ $2\sqrt{s_0} + c = 0$

$$c = -2\sqrt{s_0}$$

แทนค่า c กลับไปในสมการ (4.1) จะได้

$$2\sqrt{s(t)} - 2\sqrt{s_0} = -\sqrt{2g} C_d \frac{A_2}{A_1} t$$

$$\sqrt{s(t)} = \sqrt{s_0} - \sqrt{\frac{g}{2}} C_d \frac{A_2}{A_1} t \quad (*)$$

$$s(t) = s_0 - \sqrt{2gs_0} C_d \frac{A_2}{A_1} t + \frac{g}{2} C_d^2 \frac{A_2^2}{A_1^2} t^2 \quad (**)$$

พิจารณาอัตราการไหลเชิงปริมาตร (สมการ (2.1) และ (2.2))

จะได้ $\frac{dV}{dt} = A_2^{(c)} u_2$

$$= A_2 (C_c C_v) \sqrt{2g(H(t)-h)}$$

เพราะฉะนั้น $\frac{dV}{dt} = C_d A_2 \sqrt{2gs(t)}$ (4.2)

เมื่อ $C_d = C_c C_v$ คือ สัมประสิทธิ์การจ่าย

สมการ (4.2) แสดงให้ทราบว่า อัตราการไหลเชิงปริมาตรขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การจ่าย (C_d) และระยะจากรูเปิดจนถึงผิวน้ำ ($H(t)-h$ หรือ $s(t)$) ซึ่งขึ้นกับเวลา

เพื่อหา $\frac{dx}{dt'}$ พิจารณาการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ของลำน้ำที่ตกลงในช่องเก็บน้ำ

$$x(t') = u_2 t' = C_v \sqrt{2gs(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}})} \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad ; t' \geq \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

เนื่องจากลำน้ำจะต้องใช้เวลาในการตกแบบเสรีจากแท็งก์น้ำลงมายังช่องเก็บน้ำซึ่งมีความสูง h เป็นเวลา $\sqrt{\frac{2h}{g}}$ ดังนั้นจึงนิยามตัวแปร t' เป็นเวลาที่ลำน้ำเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน x โดยที่ $t' \geq \sqrt{\frac{2h}{g}}$ ซึ่ง $t' = t + \sqrt{\frac{2h}{g}}$ เมื่อ $t \geq 0$
จัดรูปสมการข้างต้น จะได้

$$x(t') = 2C_v \sqrt{h} \sqrt{s(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}})}$$

เพราะฉะนั้น

$$\frac{dx}{dt'} = \frac{C_v \sqrt{h}}{\sqrt{s(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}})}} \cdot \frac{d}{dt} s(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}})$$

แทน ** ใน $s(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}})$ จะได้

$$\frac{dx}{dt'} = \frac{C_v \sqrt{h}}{\sqrt{s(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}})}} \cdot \frac{d}{dt'} \left(s_0 - \sqrt{2gs_0} C_d \frac{A_2}{A_1} \left(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}} \right) + \frac{g}{2} C_d^2 \frac{A_2^2}{A_1^2} \left(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}} \right)^2 \right)$$

$$\frac{dx}{dt'} = \frac{C_v \sqrt{h}}{\sqrt{s(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}})}} \left(-\sqrt{2gs_0} C_d \frac{A_2}{A_1} + g C_d^2 \frac{A_2^2}{A_1^2} t' - \sqrt{\frac{2h}{g}} g C_d^2 \frac{A_2^2}{A_1^2} \right)$$

แทน * ในสมการข้างต้น จะได้

$$\frac{dx}{dt'} = \frac{C_v \sqrt{h}}{\sqrt{s_0 - \sqrt{\frac{g}{2}} C_d \frac{A_2}{A_1} \left(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}} \right)}} \left(-\sqrt{2gs_0} C_d \frac{A_2}{A_1} + g C_d^2 \frac{A_2^2}{A_1^2} \left(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}} \right) \right)$$

$$\frac{dx}{dt'} = \frac{C_v \sqrt{h}}{\sqrt{s_0 - \sqrt{\frac{g}{2}} C_d \frac{A_2}{A_1} \left(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}} \right)}} \left(-\sqrt{2g} C_d \frac{A_2}{A_1} \left(\sqrt{s_0 - \sqrt{\frac{g}{2}} C_d \frac{A_2}{A_1} \left(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}} \right)} \right) \right)$$

$$\therefore \frac{dx}{dt'} = -C_v C_d \sqrt{2gh} \frac{A_2}{A_1} \quad (4.3)$$

สมการ (4.3) แสดงให้ทราบว่าในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว (C_v) และค่าสัมประสิทธิ์การจ่าย (C_d) เป็นค่าคงที่หรือประมาณได้ว่าเป็นค่าคงที่ ช่วงเวลาที่น้ำตกลงในแต่ละช่องจะเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

เมื่ออินทิเกรตสมการ (4.3) ตลอดสมการจะได้

$$x(t') = -C_v C_d \sqrt{2gh} \frac{A_2}{A_1} t' + c_1$$

แทน $x(t' = \sqrt{\frac{2h}{g}}) = 2C_v \sqrt{hs_0}$ ในสมการข้างต้น จะได้

$$2C_v \sqrt{hs_0} = -C_v C_d 2h \frac{A_2}{A_1} + c_1$$

$$c_1 = 2C_v \sqrt{hs_0} + C_v C_d 2h \frac{A_2}{A_1}$$

แทนค่า c_1 กลับจะได้

$$x(t') = -C_v C_d \sqrt{2gh} \frac{A_2}{A_1} t' + 2C_v \sqrt{hs_0} + C_v C_d 2h \frac{A_2}{A_1}$$

$$x(t') = 2C_v \sqrt{h} \left(\sqrt{s_0} - C_d \sqrt{\frac{g}{2}} \frac{A_2}{A_1} t' \right) + C_v C_d 2h \frac{A_2}{A_1}$$

หรือ $\sqrt{s_0} - C_d \sqrt{\frac{g}{2}} \frac{A_2}{A_1} t' = \frac{x(t') - C_v C_d 2h \frac{A_2}{A_1}}{2C_v \sqrt{h}} \quad (***)$

พิจารณา $\frac{dV}{dx}$ จาก

$$\frac{dV}{dt'} = \frac{dV}{dx} \cdot \frac{dx}{dt'}$$

จะได้ $\frac{dV}{dx} = \frac{\left(\frac{dV}{dt'} \right)}{\left(\frac{dx}{dt'} \right)}$

จากสมการ (4.2) และ (4.3) สมการข้างต้นเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dx} &= \frac{\left(C_d A_2 \sqrt{2gs(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}})} \right)}{\left(-C_v C_d \sqrt{2gh} \frac{A_2}{A_1} \right)} ; t' \geq \sqrt{\frac{2h}{g}} \\ &= - \frac{A_1 \sqrt{s(t' - \sqrt{\frac{2h}{g}})}}{C_v \sqrt{h}} \end{aligned}$$

จาก * จะได้ $\frac{dV}{dx} = - \frac{A_1}{C_v \sqrt{h}} \left(\sqrt{s_0} - C_d \sqrt{\frac{g}{2}} \frac{A_2}{A_1} (t' - \sqrt{\frac{2h}{g}}) \right) \quad (4.4)$

สมการ (4.4) แสดงให้ทราบว่าปริมาตรน้ำที่ตกที่ระยะทางต่างๆ ขึ้นกับเวลา โดยความสูงของระดับน้ำที่แต่ละช่วง dx หาได้จากความสัมพันธ์ $dV = bl(x)(-dx)$ ดังนั้น

จาก $\frac{dV}{dx} = - \frac{A_1}{C_v \sqrt{h}} \left(\sqrt{s_0} - C_d \sqrt{\frac{g}{2}} \frac{A_2}{A_1} (t' - \sqrt{\frac{2h}{g}}) \right)$

จะได้
$$\frac{-bl(x)dx}{dx} = -\frac{A_1}{C_v\sqrt{h}} \left(\sqrt{s_0} - C_d \sqrt{\frac{g}{2}} \frac{A_2}{A_1} (t' - \sqrt{\frac{2h}{g}}) \right)$$

นั่นคือ
$$\begin{aligned} l(x) &= \frac{A_1}{bC_v\sqrt{h}} \left(\sqrt{s_0} - C_d \sqrt{\frac{g}{2}} \frac{A_2}{A_1} (t' - \sqrt{\frac{2h}{g}}) \right) \\ &= \frac{A_1}{bC_v\sqrt{h}} \left(\sqrt{s_0} - C_d \sqrt{\frac{g}{2}} \frac{A_2}{A_1} t' + C_d \frac{A_2}{A_1} \sqrt{h} \right) \\ l(x) &= \frac{A_1}{bC_v\sqrt{h}} \left(\sqrt{s_0} - C_d \sqrt{\frac{g}{2}} \frac{A_2}{A_1} t' \right) + \frac{A_2 C_d}{bC_v} \end{aligned}$$

แทนพจน์ในวงเล็บด้วย *** จะได้

$$\begin{aligned} l(x) &= \frac{A_1}{bC_v\sqrt{h}} \left(\frac{x(t') - C_v C_d 2h \frac{A_2}{A_1}}{2C_v\sqrt{h}} \right) + \frac{A_2 C_d}{bC_v} \\ &= \frac{A_1}{2bC_v^2 h} \left(x(t') - 2C_v C_d h \frac{A_2}{A_1} \right) + \frac{A_2 C_d}{bC_v} \\ &= \frac{A_1 x(t')}{2bC_v^2 h} - \frac{A_2 C_d}{bC_v} + \frac{A_2 C_d}{bC_v} \end{aligned}$$

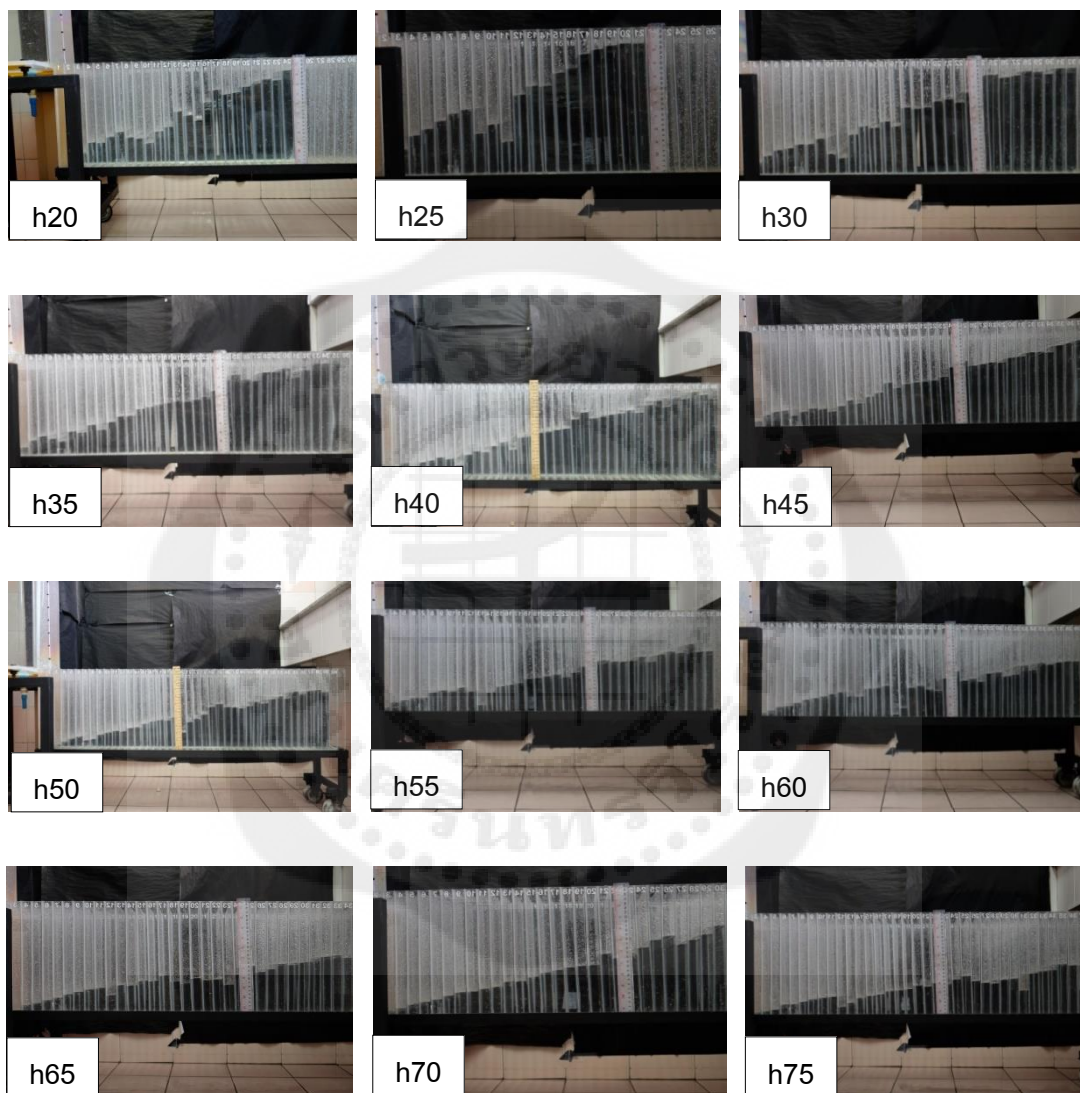
เพราะฉะนั้น

$$l(x) = \frac{A_1}{2bC_v^2 h} x \quad (4.5)$$

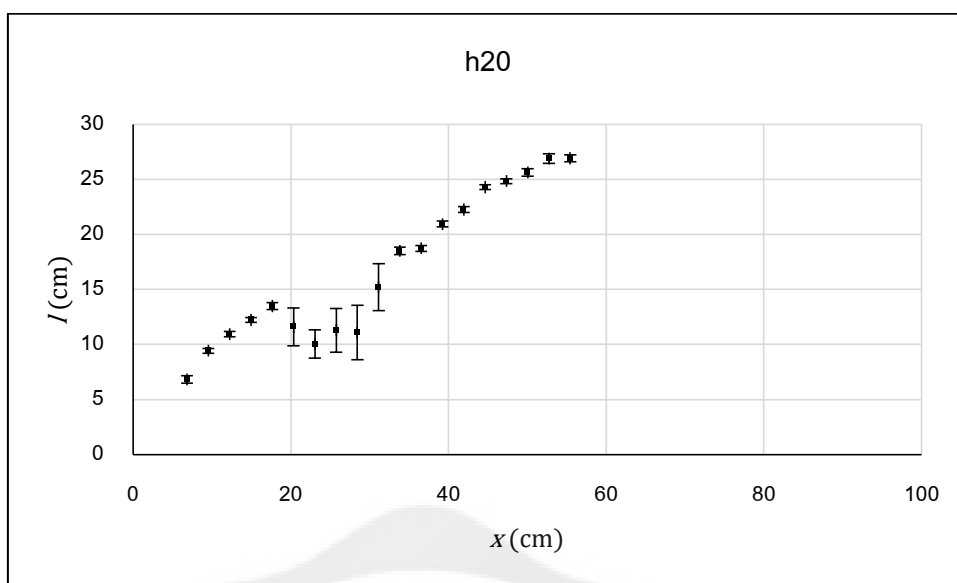
สมการ (4.5) แสดงให้เห็นว่าระดับน้ำขึ้นอยู่กับระยะทางซึ่งวัดจากแท่งกั้นน้ำ โดยรูปแบบของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำจะประมาณได้เป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $A_1 / 2bC_v^2 h$ สังเกตว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว C_v สามารถหาได้จากค่าความชันนี้ อย่างไรก็ตามที่ได้ตามสมการ (4.5) มีข้อจำกัดที่ว่า ค่า C_v จะต้องเป็นค่าคงที่ตลอดการไหล ดังนั้นหากตลอดการไหล C_v ไม่คงที่ สมการ (4.5) จะใช้ได้เฉพาะสำหรับแต่ละช่วงของการไหลที่ C_v ในช่วงนั้นๆ สามารถประมาณเป็นค่าคงที่ได้

1.2 ผลการทดลองระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ

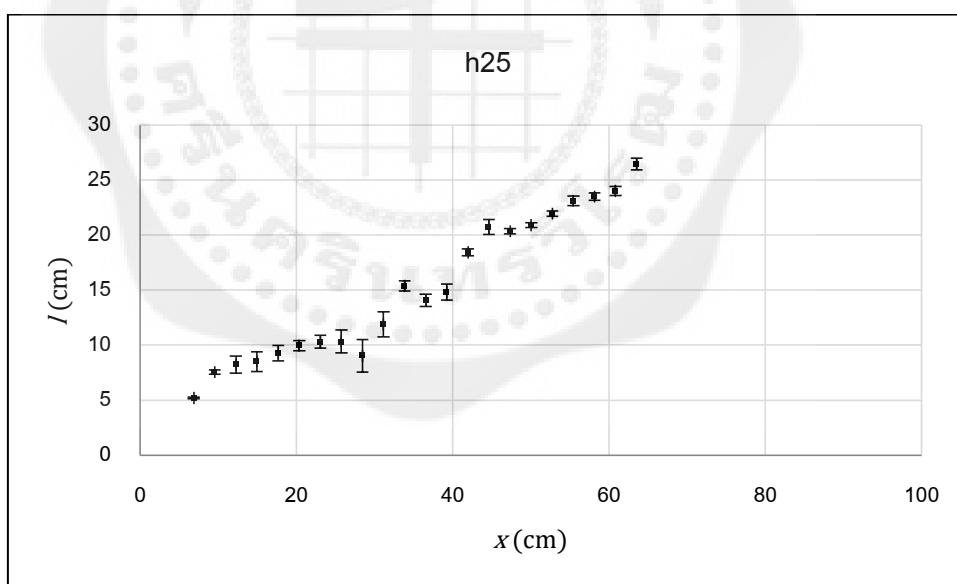
ภาพประกอบ 11 แสดงระดับความสูงของน้ำในช่องเก็บน้ำที่ปล่อยจากรูเปิดที่ความสูงต่างๆ จากผลการทดลองพบว่ายิ่งระยะทางห่างออกไปจากแท็งก์มาก ระดับน้ำในช่องเก็บน้ำยิ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับสมการ (4.5) เมื่อพลอตเป็นกราฟระหว่างความสูงของระดับน้ำ $I(x)$ และระยะทาง x จะได้กราฟดังภาพประกอบ 12-23



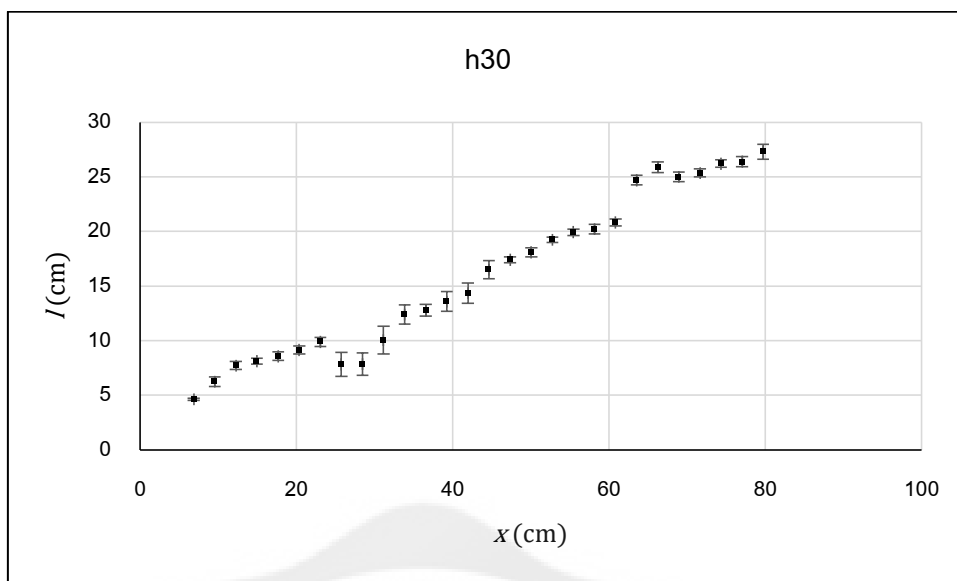
ภาพประกอบ 11 ระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแท็งก์น้ำของทอริริเซลลี ที่ความสูง h ของรูเปิดต่างๆ



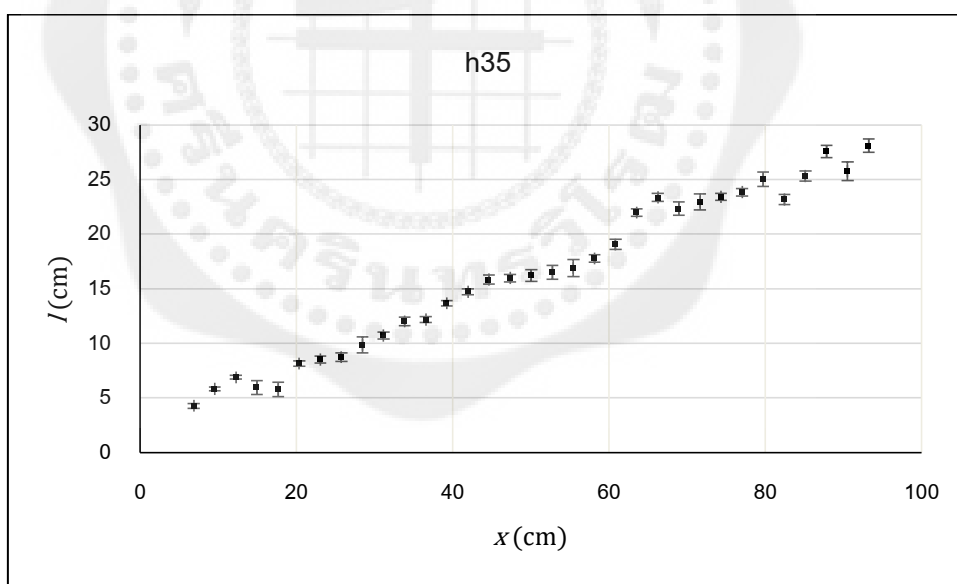
ภาพประกอบ 12 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $l(x)$ และระยะ x ที่รู้เปิดสูง $h=20$ เซนติเมตร



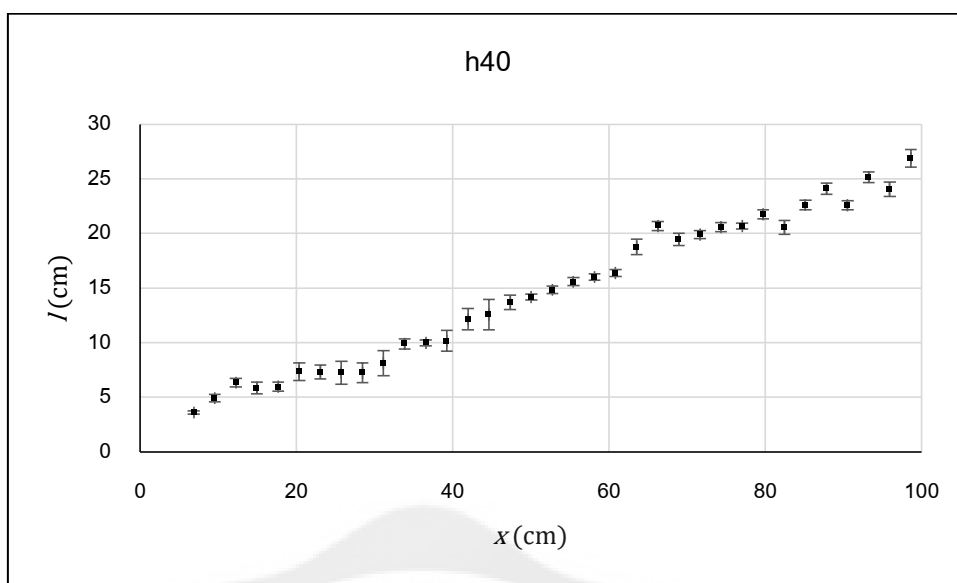
ภาพประกอบ 13 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $l(x)$ และระยะ x ที่รู้เปิดสูง $h=25$ เซนติเมตร



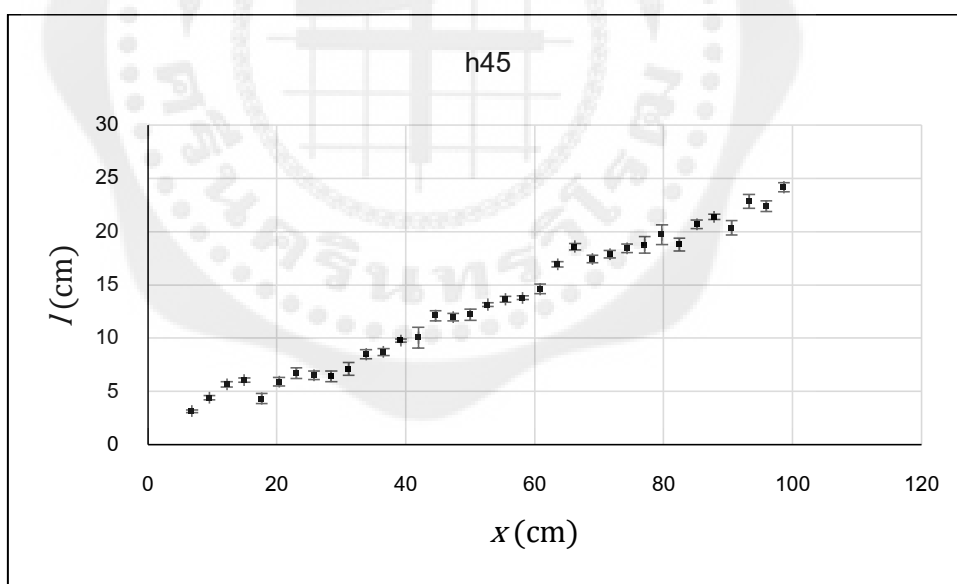
ภาพประกอบ 14 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $I(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=30$ เซนติเมตร



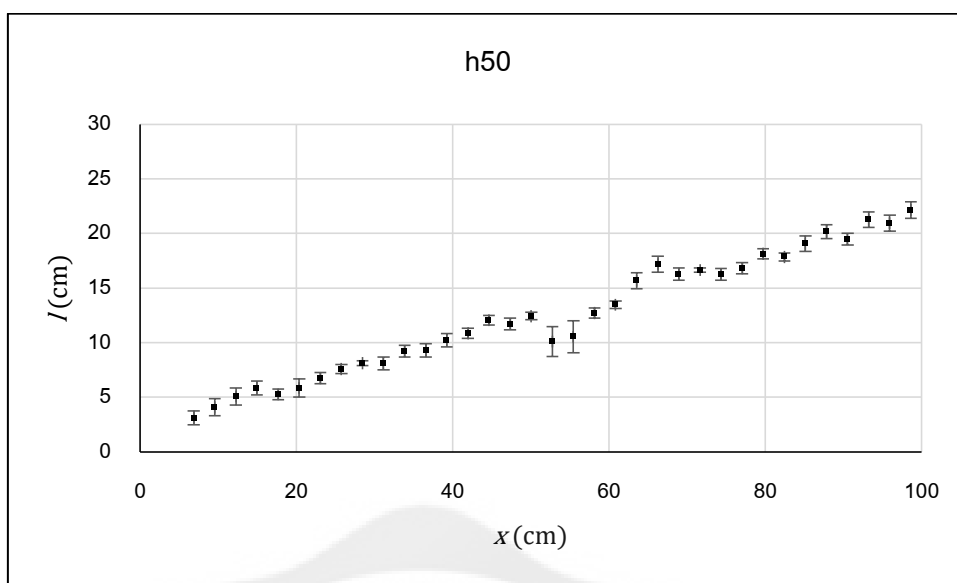
ภาพประกอบ 15 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $I(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=35$ เซนติเมตร



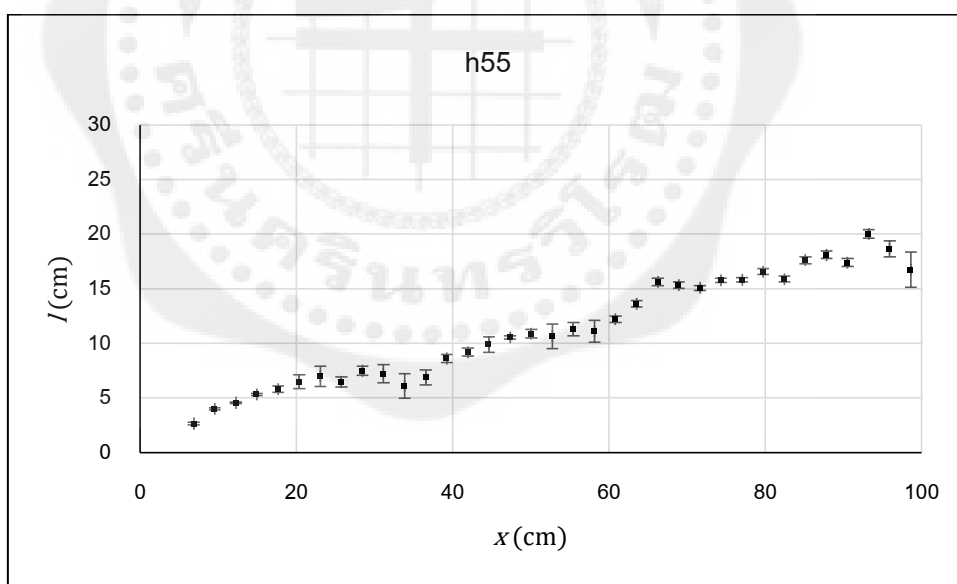
ภาพประกอบ 16 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $I(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=40$ เซนติเมตร



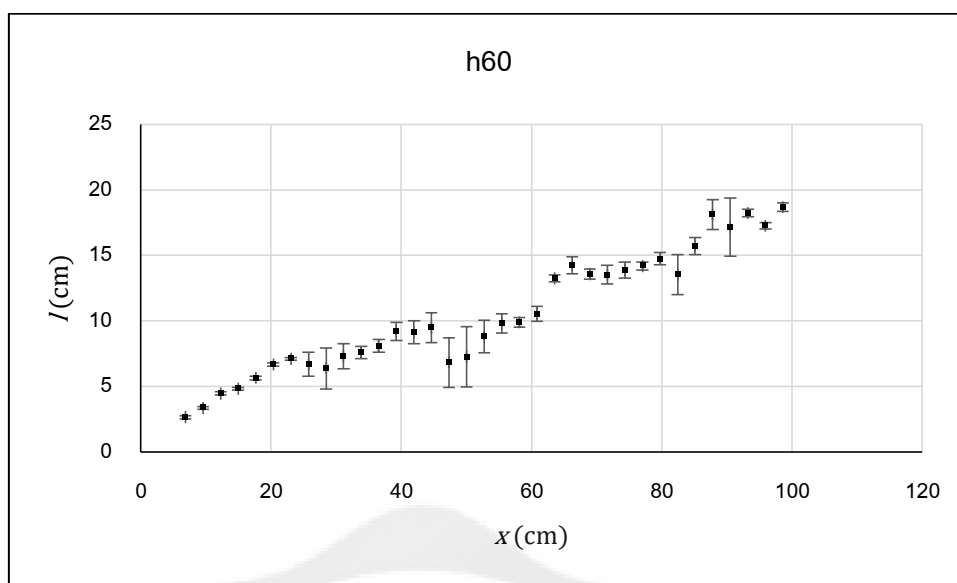
ภาพประกอบ 17 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $I(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=45$ เซนติเมตร



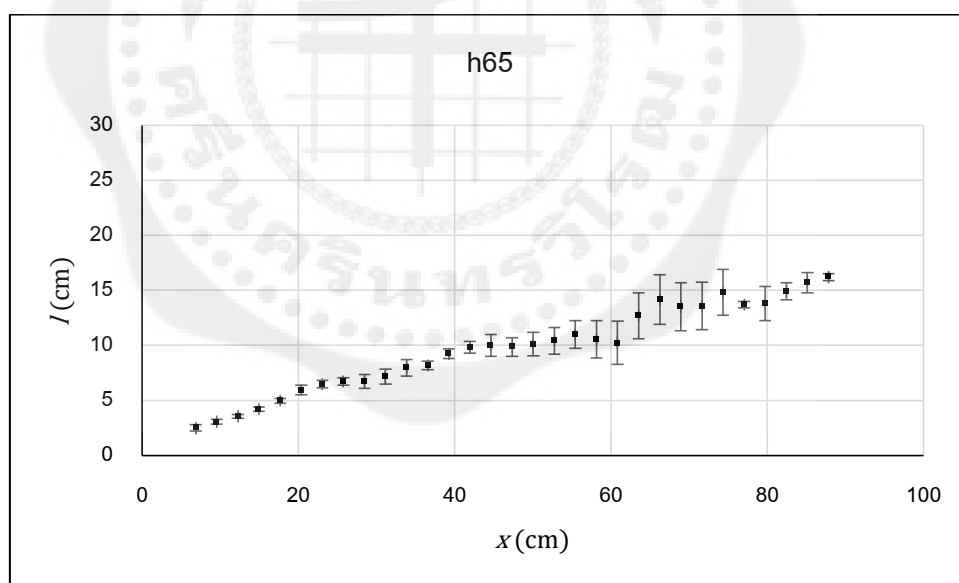
ภาพประกอบ 18 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $I(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=50$ เซนติเมตร



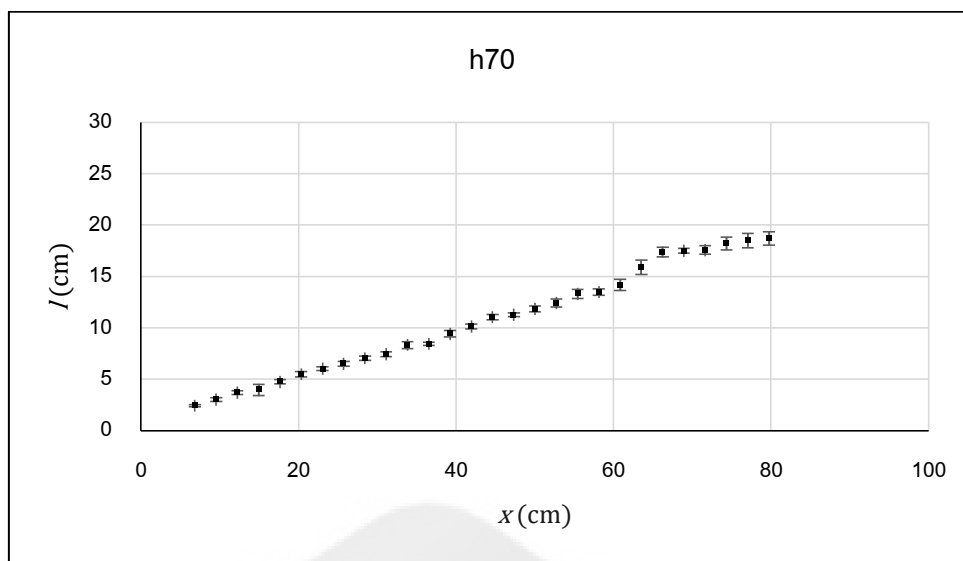
ภาพประกอบ 19 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $I(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=55$ เซนติเมตร



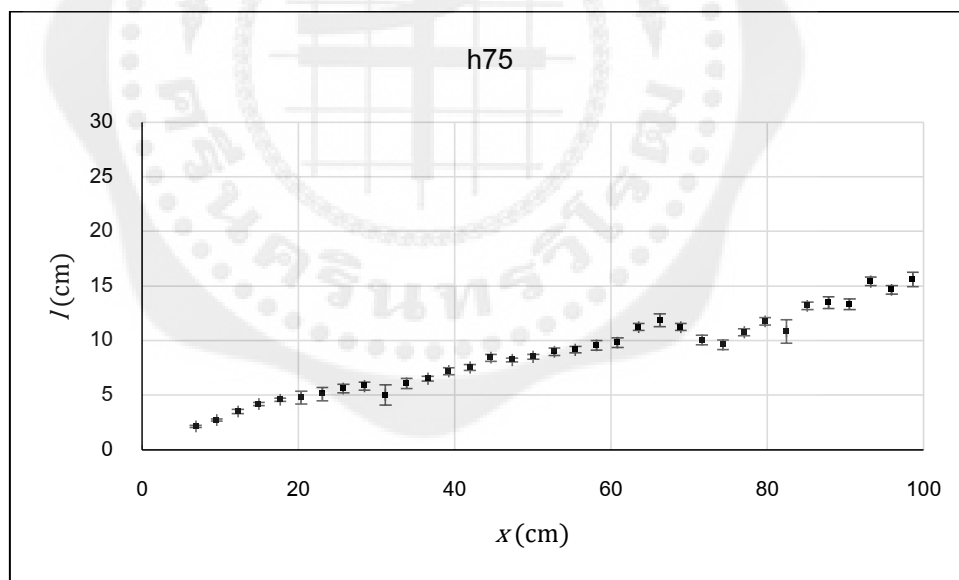
ภาพประกอบ 20 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $I(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=60$ เซนติเมตร



ภาพประกอบ 21 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $I(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=65$ เซนติเมตร



ภาพประกอบ 22 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $I(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=70$ เซนติเมตร



ภาพประกอบ 23 กราฟความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำ $I(x)$ และระยะ x ที่รูเปิดสูง $h=75$ เซนติเมตร

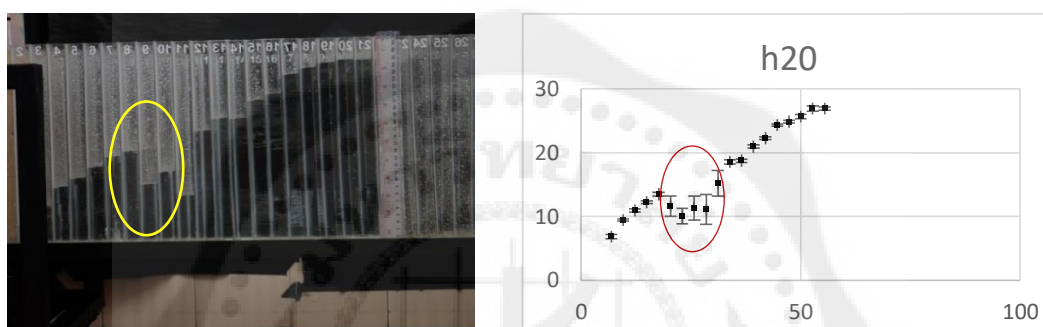
จากการทดลองจะได้รูปแบบของระดับน้ำที่ความสูงของรูเปิดต่างๆ คือ 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 และ 75 เซนติเมตร (หรือ h_{20} , h_{25} , h_{30} , h_{35} , h_{40} , h_{45} , h_{50} , h_{55} , h_{60} , h_{65} , h_{70} และ h_{75}) ตามลำดับ ระดับน้ำในช่องเก็บน้ำเหล่านี้ถูกนำมาวัดความสูงและพลอต

เป็นกราฟระหว่างความสูงของระดับน้ำในแต่ละช่อง ($I(x)$) กับระยะทางจากแท่งกั้นในแนวระดับ (x) (ภาพประกอบ 12-23)

เมื่อทำการฟิตกราฟเส้นตรงจากกราฟระดับน้ำ จะได้ความชันค่าหนึ่งซึ่งสามารถนำมาหาค่า C_v ได้ จากสมการ (4.5) $I(x) = \frac{A_1}{2bC_v^2 h} x$

ดังนั้น
$$C_v = \sqrt{\frac{A_1}{2bh(\text{slope})}} \quad (4.6)$$

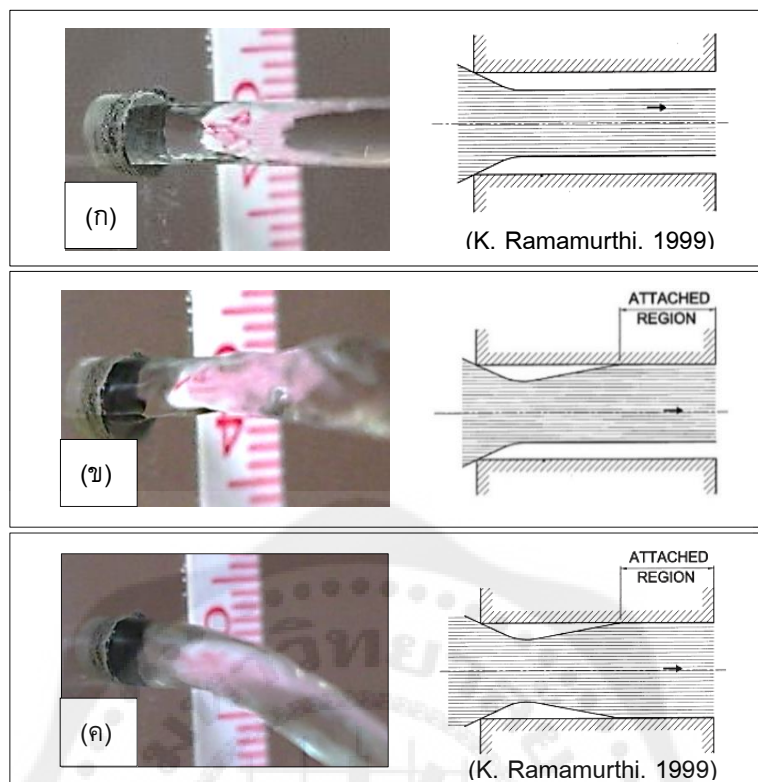
1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว (C_v)



ภาพประกอบ 24 แสดงช่วงที่ระดับน้ำลดลงอย่างฉับพลัน ในการทดลองที่รูเปิด h20

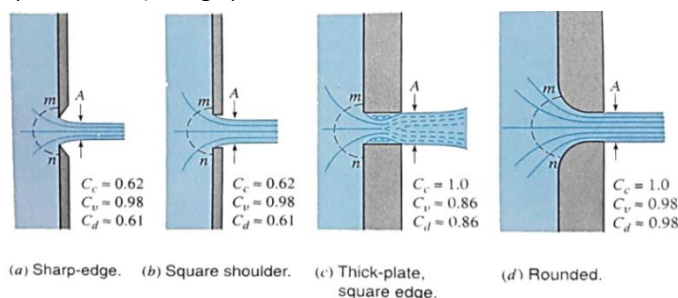
จากภาพประกอบ 24 จะเห็นได้ว่าในบางช่วงระดับน้ำมีการลดลงอย่างฉับพลัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับแนวโน้มโดยรวมของการลดลงของระดับน้ำ ผู้วิจัยจึงทำการสังเกตในระหว่างการทดลองพบว่าเมื่อเริ่มทำการทดลอง น้ำไหลออกจากรูเปิดด้วยอัตราเร็วสูงลำน้ำจึงไม่สัมผัสกับผนังของรู เรียกการไหลลักษณะนี้ว่าการไหลแบบโพรง (cavitated flow) ดังภาพประกอบ 25ก แต่เมื่ออัตราเร็วของน้ำลดลงจนถึงค่าหนึ่ง ลำน้ำที่ไหลออกมาจะสัมผัสกับผนังของรู เรียกว่า การไหลแบบแนบติด (attached flow) ดังภาพประกอบ 25ค ในงานวิจัยนี้พบว่าระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลจากการไหลแบบโพรงไปเป็นการไหลแบบแนบติด มีลำน้ำ บางด้านสัมผัสกับผนังรูก่อนแล้วจึงค่อยๆ สัมผัสผนังรูจนครบทุกด้านซึ่งอาจเกิดจากการที่รูเปิดไม่ได้อยู่ในแนวระดับอย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยนิยามการไหลลักษณะนี้ว่า การไหลแบบกึ่งแนบติด (semi-attached flow) ดังภาพประกอบ 25ข

จากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลของลำน้ำดังกล่าว หากเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน ความเสียดทานที่เกิดขึ้นจะทำให้ลำน้ำลดอัตราเร็วลงอย่างรวดเร็วและเกิดความไม่เสถียรขึ้นชั่วขณะหนึ่ง ส่งผลให้ระดับน้ำลดลงอย่างฉับพลันในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหล ดังแสดงในภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 25 ลักษณะการไหลของลำน้ำแบบต่างๆ (ก) การไหลแบบโพรง (cavitated flow) (ข) การไหลแบบกึ่งแนบติด (semi-attached flow) (ค) การไหลแบบแนบติด (attached flow)

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการไหลของของไหลผ่านรูเปิดแบบต่างๆ (ภาพประกอบ 26) กับการไหลของลำน้ำในการทดลอง พบว่าตอนเริ่มต้นน้ำจะไหลออกจากรูโดยไม่สัมผัส ผนังรู (เป็นการไหลแบบโพรง) ซึ่งตรงกับกรณีรูเปิดแบบขอบคม (sharp-edge) และแบบไหล่เหลี่ยม (square shoulder) จากนั้นจึงค่อยๆ เปลี่ยนไปเป็นการไหลในกรณีรูเปิดแบบผนังหนา (thick-plate square edge) คือลำน้ำสัมผัสกับผนังรูทั้งหมด (การไหลแบบแนบติด) ด้วยเหตุนี้จึงนิยามรูเปิดในงานวิจัยนี้ว่า “รูเปิดแบบขอบกึ่งคม (semi-sharp edge)”



ภาพประกอบ 26 การไหลของของไหลผ่านรูเปิดลักษณะต่างๆ

ที่มา: Joseph B. Franzini, 1997

ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วนั้น เนื่องจากช่วงที่ระดับน้ำลดลงอย่างฉับพลันถือเป็นช่วงที่ลำน้ำไม่เสถียร จึงไม่สามารถนำมาใช้ในการคำนวณได้ ดังนั้นจึงตัดข้อมูลการทดลองในช่วงดังกล่าวออกก่อนทำการพิเคราะห์ เนื่องจากผลการทดลองในช่วงที่มีการไหลแบบโพรงและกึ่งแนบติดหรือแนบติด ลำน้ำมีการสัมผัสผนังรูแตกต่างกัน ซึ่งอาจทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วในแต่ละช่วงต่างกันไปด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงแบ่งการพิเคราะห์แยกกันในแต่ละช่วง (ตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก) ซึ่งในแต่ละช่วงนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วจะมีค่าคงที่โดยประมาณ ทำให้สามารถใช้สมการ (4.6) ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วได้ดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วที่ความสูงของรูเปิดต่างๆ

h	C_v		
	cavitated flow	semi-attached flow	attached flow
h20	1.06±0.05		0.90±0.04
h25	0.99±0.07		1.07±0.04
h30	1.00±0.04		1.00±0.03
h35	1.02±0.02		0.79±0.06
h40	0.99±0.06		0.95±0.08
h45	0.94±0.02		0.79±0.05
h50	0.94±0.05		0.96±0.05
h55	1.01±0.06		0.90±0.05
h60	0.90±0.05		0.95±0.07
h65	1.03±0.23	1.09±0.49	0.88±0.10
h70	-	-	0.80±0.02
h75	0.90±0.18	0.95±0.07	0.90±0.05

จากตาราง 1 ที่รูเปิด h20-h60 ระดับน้ำจะลดลงอย่างฉับพลันเมื่อการไหลเปลี่ยนจากแบบโพรงไปเป็นแบบกึ่งแนบติดอย่างกะทันหัน แต่ช่วงที่การไหลแบบกึ่งแนบติดเปลี่ยนไปเป็นการไหลแบบแนบติด จะเป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ จึงไม่เกิดการลดลงอย่างฉับพลันของระดับน้ำระหว่างการเปลี่ยนรูปแบบลำน้ำ ที่รูเปิด h65 และ h75 ระดับน้ำจะลดลงอย่างฉับพลันทั้งในช่วงที่รูปแบบลำน้ำเปลี่ยนจากแบบโพรงไปเป็นแบบกึ่งแนบติดอย่างกะทันหัน และจากแบบกึ่งแนบติดไปเป็นแบบแนบติดอย่างกะทันหัน ที่รูเปิด h70 รูปแบบของลำน้ำเป็นแบบแนบติดตั้งแต่เริ่มต้น จึงมีค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วเพียงช่วงเดียว ทั้งนี้พฤติกรรมดังกล่าวอาจเกิดจากความไม่เรียบของผนังรูที่แตกต่างกัน สังเกตว่าค่า C_v ของการไหล จากแบบโพรงไปเป็นแบบกึ่งแนบติดและแนบติดจะมีค่า

C_v ไกล่เคียงเดิมหรือน้อยลงตามลำดับ โดยในหลายๆ รูปเปิดค่าที่ได้สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วที่อ้างอิงในภาพประกอบ 26 การที่ C_v มีพฤติกรรมเช่นนี้เนื่องจากการไหลแบบโพรงแบบกึ่งแนบติดและแนบติด ลำน้ำมีการสัมผัสกับผนังรูปเปิดมากขึ้นตามลำดับ

1.4 ผลการวิเคราะห์เลขเรย์โนลด์

จากหัวข้อก่อนหน้าทำให้เกิดข้อสงสัยบางประการเกี่ยวกับการไหลของน้ำที่ไหลออกจากรูเปิดแต่ละรูซึ่งมีความสูงต่างกัน จึงทำการคำนวณหาเลขเรย์โนลด์เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของน้ำ เลขเรย์โนลด์บ่งบอกถึงสภาพการไหลของของไหล ถ้าเลขเรย์โนลด์มีค่าน้อยกว่า 2000 หมายถึงน้ำมีการไหลแบบราบเรียบ ถ้าเลขเรย์โนลด์มีค่าอยู่ระหว่าง 2000 ถึง 4000 หมายถึงน้ำมีการไหลแบบช่วงต่อและถ้าเลขเรย์โนลด์มีค่ามากกว่า 4000 หมายถึงน้ำมีการไหลแบบปั่นป่วน เลขเรย์โนลด์สามารถหาได้จากสมการ

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} = \frac{u D}{\nu} \quad (4.7)$$

เมื่อ

Re คือ เลขเรย์โนลด์

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

u คือ อัตราเร็วของของไหลที่ไหลออกจากรู (เซนติเมตร/วินาที)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรู (เซนติเมตร)

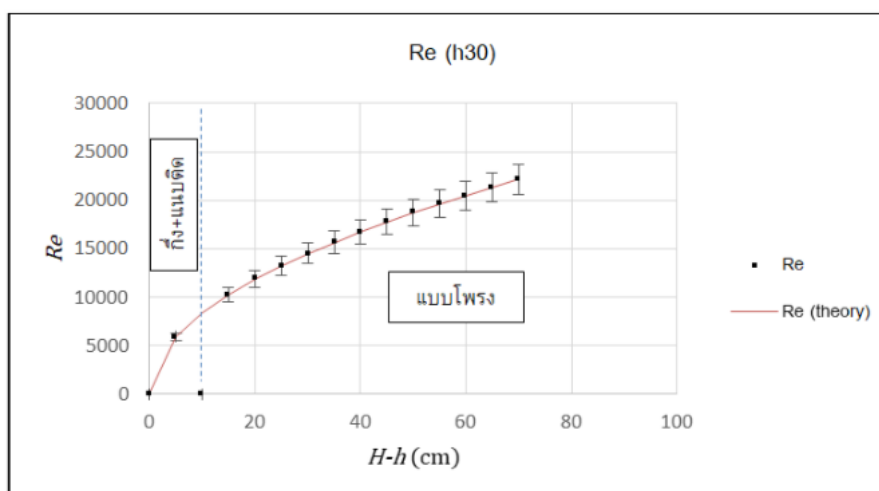
μ คือ ความหนืดพลวัต (dynamic viscosity)

ความหนืดพลวัตของน้ำมีค่าเท่ากับ 0.008324 g/cm s

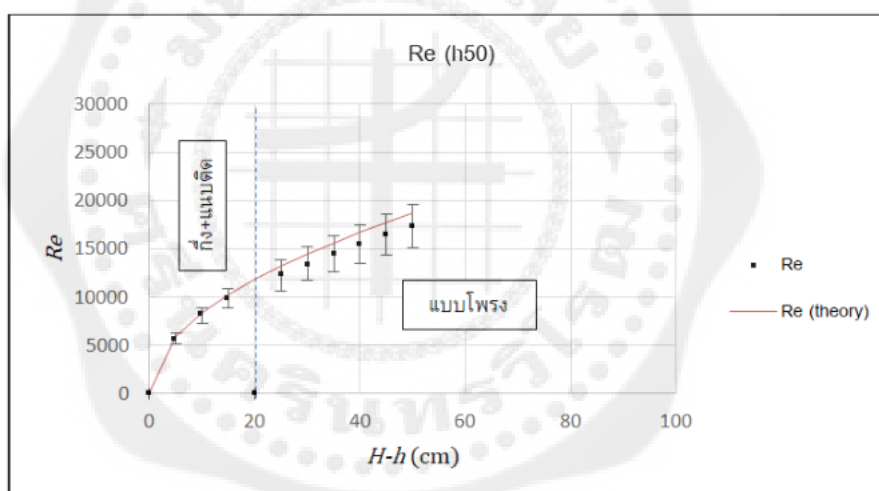
ν คือ ความหนืดจลน์ (kinematic viscosity)

ความหนืดจลน์ของน้ำมีค่าเท่ากับ 0.00836 cm²/s

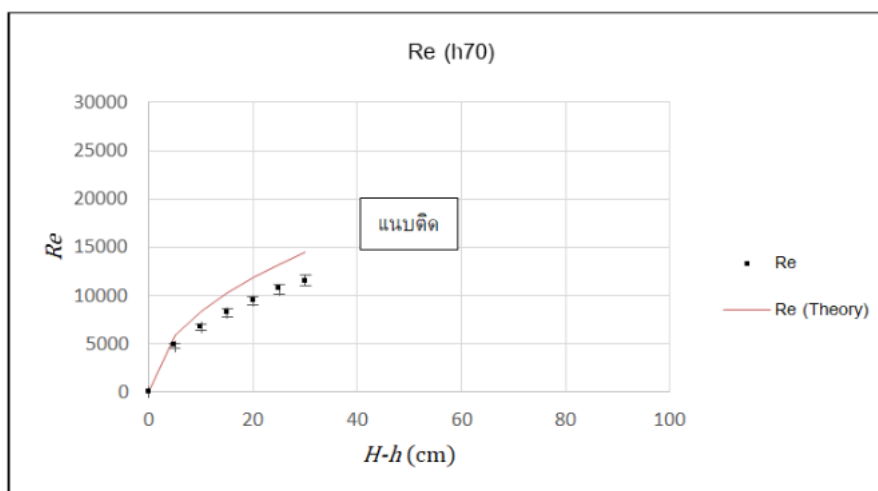
เมื่อแทนค่า $u = C_v \sqrt{2g(H-h)}$ ในสมการ (4.7) เมื่อ C_v คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วของการไหลแต่ละช่วงจะได้เลขเรย์โนลด์ (ตัวอย่างวิธีคำนวณแสดงในภาคผนวก ก) จากนั้นนำเลขเรย์โนลด์ที่ได้มาพลอตเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะจากผิวน้ำถึงรูเปิด ($H-h$) และเลขเรย์โนลด์ (Re)



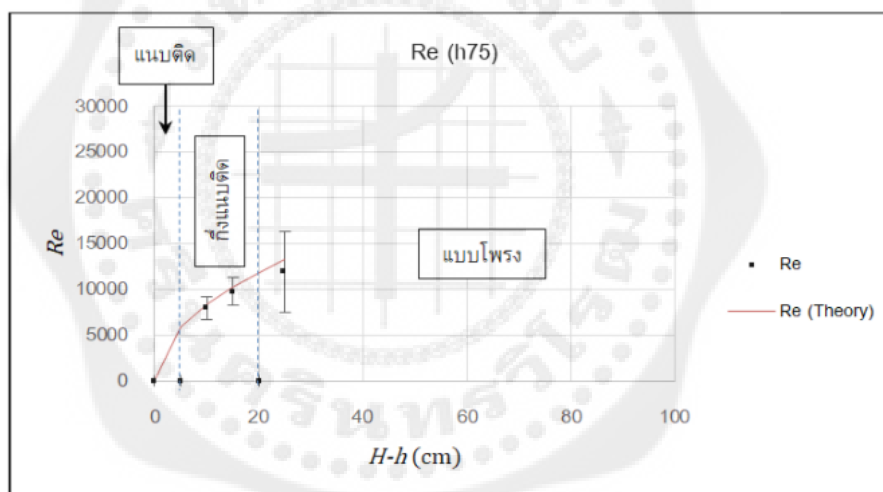
ภาพประกอบ 27 กราฟความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์ (Re) และระยะที่วัดจากผิวน้ำถึงรูเปิด ($H - h$) ที่รูเปิดสูง $h=30$ เซนติเมตร



ภาพประกอบ 28 กราฟความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์ (Re) และระยะที่วัดจากผิวน้ำถึงรูเปิด ($H - h$) ที่รูเปิดสูง $h=50$ เซนติเมตร



ภาพประกอบ 29 กราฟความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์ (Re) และระยะที่วัดจากผิวน้ำถึงรูเปิด ($H - h$) ที่รูเปิดสูง $h=70$ เซนติเมตร



ภาพประกอบ 30 กราฟความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์ (Re) และระยะที่วัดจากผิวน้ำถึงรูเปิด ($H - h$) ที่รูเปิดสูง $h=75$ เซนติเมตร

ภาพประกอบ 27-30 แสดงตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะจากผิวน้ำถึงรูเปิด ($H - h$) และเลขเรย์โนลด์ (Re) ที่รูเปิด $h=30$, $h=50$, $h=70$ และ $h=75$ ตามลำดับ โดยจุดแต่ละจุดคือค่าของเลขเรย์โนลด์ที่ระยะต่างๆ จุดที่หายไปเป็นช่วงที่การไหลไม่เสถียรจึงไม่นำมาคำนวณรวมด้วย เส้นประเป็นเส้นแบ่งช่วงรูปแบบการไหล กล่าวคือเป็นเส้นที่แสดงระยะ $H - h$ ที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลของลำน้ำซึ่งได้จากการสังเกตในระหว่างการทดลอง ในการทดลองที่ความสูงของรูเปิด (h) ต่างๆ มีช่วงเวลาที่ลำน้ำไม่เสถียรแตกต่างกัน และผู้วิจัยยังไม่สามารถระบุ

ชัดเจนได้ว่าการไหลจะเริ่มกลับมาเสถียรที่ระยะ $H - h$ ดังนั้นจุดที่สอดคล้องกับค่า $H - h$ ที่น้อยกว่าที่ระบุโดยเส้นประบางจุดอาจเป็นจุดที่ลำน้ำยังไม่กลับมามีเสถียรภาพเต็มที่ก็เป็นได้ อย่างไรก็ตามความไม่สมบูรณ์ของการสังเกตเพียงเล็กน้อยนี้ไม่ได้ส่งผลชัดเจน ในรูปกราฟจึงไม่ทำให้ข้อสรุปใดที่ได้จากกราฟเปลี่ยนแปลงไป สำหรับเส้นที่แสดงเลขเรย์โนลด์จากการคำนวณทางทฤษฎีของของไหลอุดมคติ ($C_v = 1$) (วิธีการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของเลขเรย์โนลด์จะแสดงในภาคผนวก ก)

สำหรับการทดลองบางรูเปิด (h) เช่น h30 และ h50 (ภาพประกอบ 27 และ 28 ตามลำดับ) การไหลแบบกึ่งแนบติดและการไหลแบบแนบติดจะอยู่ในช่วงเดียวกัน เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลของลำน้ำอย่างช้าๆ จึงไม่สามารถแยกช่วงการไหลออกจากกันได้อย่างชัดเจน ในการทดลองที่รูเปิด h70 (ภาพประกอบ 29) การไหลของลำน้ำมีเพียงรูปแบบเดียว คือการไหลแบบแนบติด ส่วนการทดลองที่รูเปิด h75 (ภาพประกอบ 30) เกิด การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลของลำน้ำอย่างกะทันหันถึง 2 ครั้งที่คนละตำแหน่ง $H - h$ จึงสามารถแยกช่วงรูปแบบการไหลของลำน้ำได้ชัดเจนทั้งสามรูปแบบ

ผลจากการคำนวณเลขเรย์โนลด์พบว่า เลขเรย์โนลด์ของการไหลของน้ำผ่านรูเปิดต่างๆ ในทุกๆ จุดตลอดการไหล (ยกเว้นจุดที่ระยะเท่ากับ 0) มีค่ามากกว่า 4000 ซึ่งตามเกณฑ์แล้วของไหลควรมีรูปแบบการไหลแบบปั่นป่วน แต่ค่าความยาวของท่อที่ของไหลต้องการในการปรับตัว (entrance length) ต้องมีค่าประมาณ $10D$ หรือเท่ากับ 5 เซนติเมตร เมื่อ D คือความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (ในงานวิจัยนี้ รูเปิดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร) แต่ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้ผนังหนา 6 มิลลิเมตร (กล่าวคือท่อมีความยาว 6 มิลลิเมตร) ซึ่งน้อยกว่าความยาวของท่อที่จำเป็นในการปรับตัวของของไหลมาก ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ว่าการไหลของน้ำผ่านรูเปิดในการทดลองนี้เป็นการไหลแบบปั่นป่วน จากการสังเกตลำน้ำที่ไหลออกจาก รูเปิด พบว่าลำน้ำที่ไหลออกมีลักษณะเป็นระเบียบและไหลนิ่ง ซึ่งน่าจะเป็นการไหลแบบราบเรียบ

2. ผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่องการทดลองแท็งก์น้ำของทอร์ริเชลลี

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้จัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่องการทดลองแท็งก์น้ำของทอร์ริเชลลี เพื่อศึกษาแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องการทดลองแท็งก์น้ำของทอร์ริเชลลี ผลสัมฤทธิ์และความคงทนของความรู้ เรื่องของไหล ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในรายวิชาฟิสิกส์ จากการทดลองจัดการเรียนรู้อย่างกล่าวได้ผลการทดลองดังนี้

2.1 แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่องการทดลองแท็งก์น้ำของทอร์ริเชลลี

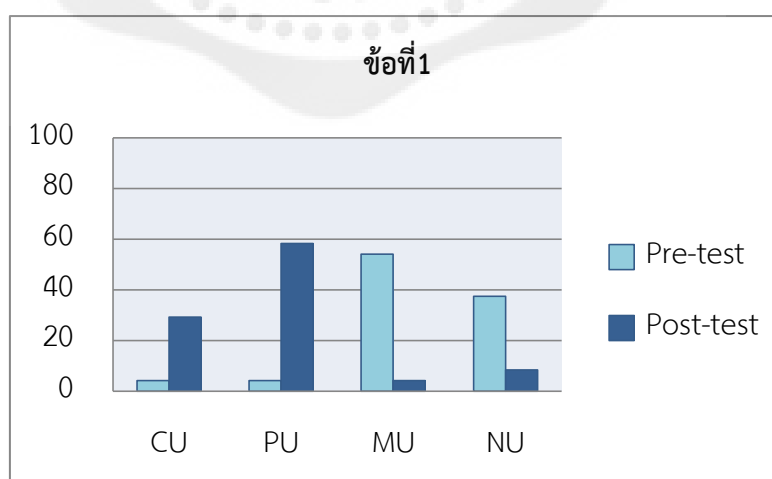
การศึกษาแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่องการทดลองแท็งก์น้ำของทอร์ริเชลลี วิเคราะห์จากคำถามเรื่องแท็งก์น้ำของทอร์ริเชลลีจำนวน 3 ข้อ โดยแบ่งคำตอบของนักเรียนออกเป็นแนวคิดวิทยาศาสตร์ 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ถูกต้อง (CU), กลุ่มที่มีแนวคิด

ถูกต้องบางส่วน (PU), กลุ่มที่มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (MU) และกลุ่มที่มีแนวคิดไม่ถูกต้อง (NU) ดังที่ได้กล่าวในบทที่ 3 โดยพิจารณาเป็นรายข้อดังตาราง 2

ตาราง 2 ระดับแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่องการทดลองแก๊งก์น้ำของทอรัรีเซลล์ ของนักเรียน ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย

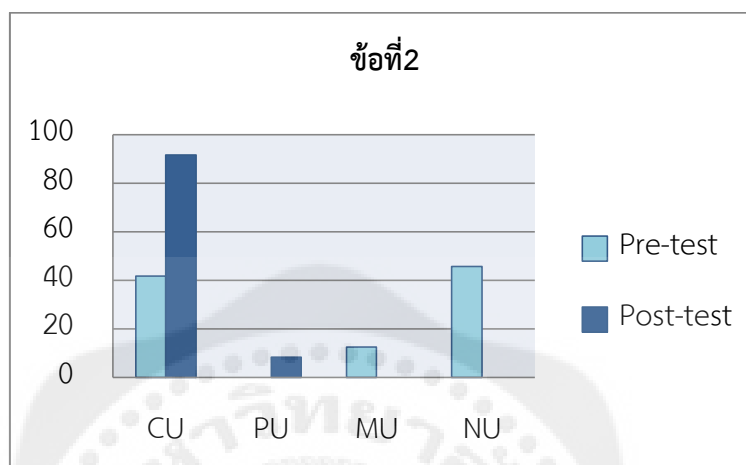
คำถาม	CU		PU		MU		NU	
	Pre	Post1	Pre	Post1	Pre	Post1	Pre	Post1
ข้อ 1	1 (4.17%)	7 (29.17%)	1 (4.17%)	14 (58.33%)	13 (54.17%)	1 (4.17%)	9 (37.5%)	2 (8.33%)
ข้อ 2	10 (41.7%)	22 (91.67%)	0	2 (8.33%)	3 (12.5%)	0	11 (45.83%)	0
ข้อ 3	5 (20.8%)	14 (58.33%)	3 (12.5%)	7 (29.17%)	7 (29.17%)	2 (8.33%)	9 (37.5%)	1 (4.17%)

ตาราง 2 แสดงให้เห็นว่าก่อนเรียนนักเรียนมีแนวคิดวิทยาศาสตร์อยู่ในกลุ่มที่มีแนวคิดไม่ถูกต้อง (NU) และมีแนวคิดคลาดเคลื่อน (MU) เป็นจำนวนมาก แต่หลังจากการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่องการทดลองแก๊งก์น้ำของทอรัรีเซลล์แล้ว นักเรียนมีความเข้าใจและมีแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่ดีขึ้นเห็นได้จากจำนวนนักเรียนในกลุ่มที่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ถูกต้อง (CU) และกลุ่มที่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ถูกต้องบางส่วน (PU) มีจำนวนมากขึ้น จากตาราง 2 สามารถแสดงเป็นแผนภูมิแท่งรายข้อดังนี้



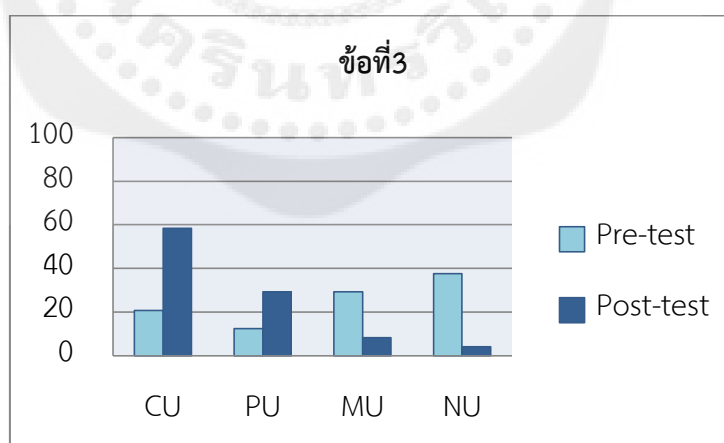
ภาพประกอบ 31 แนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนจากคำตอบข้อที่ 1 ก่อนเรียนและหลังเรียน

ภาพประกอบ 31 แสดงกราฟแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน จะเห็นว่าก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (ร้อยละ 54) และแนวคิดไม่ถูกต้อง (ร้อยละ 38) แต่หลังเรียนนักเรียนส่วนใหญ่มีแนวคิดที่ถูกต้อง (ร้อยละ 29) และแนวคิดถูกต้องบางส่วน (ร้อยละ 58)



ภาพประกอบ 32 แนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนจากคำตอบข้อที่ 2 ก่อนเรียนและหลังเรียน

ภาพประกอบ 32 แสดงให้เห็นว่าก่อนเรียนนักเรียนที่มีแนวคิดถูกต้องและนักเรียนที่มีแนวคิดไม่ถูกต้องมีจำนวนเท่าๆ กัน คือประมาณร้อยละ 42 หลังเรียนนักเรียนร้อยละ 92 มีแนวคิดที่ถูกต้อง และไม่มีนักเรียนที่มีแนวคิดไม่ถูกต้องเลย



ภาพประกอบ 33 แนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนจากคำตอบข้อที่ 3 ก่อนเรียนและหลังเรียน

จากภาพประกอบ 33 จำนวนนักเรียนที่มีแนวคิดถูกต้องเพิ่มจากร้อยละ 21 เป็นร้อยละ 58 ในขณะที่นักเรียนที่มีแนวคิดไม่ถูกต้องลดลงจากร้อยละ 38 เป็นร้อยละ 4

2.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิเคราะห์จากผลการทำแบบทดสอบก่อนและหลังเรียน เรื่อง ของไหล พบว่าหลังการจัดการเรียนรู้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ มีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 22.29 คะแนนเป็น 41.29 คะแนน และจำนวนนักเรียนที่ได้คะแนนผ่าน เกณฑ์ร้อยละ 60 เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 3.85 เป็นร้อยละ 73.08 ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 ผลการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ของไหล

	จำนวน (N)	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ผ่านเกณฑ์ 60%	ค่า t
Pre-test	24	57	22.29	1 (3.85%)	13.16
Post-test1	24	57	41.29	19 (73.08%)	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.3 ความคงทนของความรู้

ความคงทนของความรู้วิเคราะห์จากผลการทำแบบทดสอบเรื่อง ของไหล เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน 2 ครั้ง (ทดสอบหลังเรียนทันทีและหลังเรียนไปแล้ว 4 สัปดาห์) พบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนครั้งที่ 1 และหลังเรียนครั้งที่ 2 เท่ากับ 41.29 และ 39.96 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยทั้งสองครั้งด้วยสถิติค่าที่แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน พบว่าคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนหลังเรียนและหลังเรียนเป็นเวลา 4 สัปดาห์ไม่แตกต่างกันที่ระดับ 0.05 ดังแสดงใน ตาราง 4

ตาราง 4 ผลการศึกษาความคงทนของความรู้ เรื่อง ของไหล

	จำนวน (N)	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ผ่านเกณฑ์ 60%	ค่า t
Post-test1	24	57	41.29	19 (73.08%)	-1.96526
Post-test2	24	57	39.96	17 (65.38%)	

*ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

บทที่ 5

สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

1. การศึกษารูปแบบระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแท็งก์น้ำของทอร์ริเชลลี

งานวิจัยนี้ศึกษาระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแท็งก์น้ำของทอร์ริเชลลี จากผลการคำนวณทางทฤษฎีพบว่าระดับน้ำในช่องเก็บน้ำขึ้นกับระยะทางจากแท็งก์น้ำ โดยมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ตามสมการ $l(x) = A_1 x / 2bC_v^2 h$ เมื่อ C_v คือสัมประสิทธิ์ความเร็วซึ่งประมาณให้มีค่าคงที่ในช่วงหนึ่งๆ แบ่งตามลักษณะการไหลของลำน้ำ A_1 คือ พื้นที่หน้าตัดของแท็งก์น้ำ และ b คือ ความกว้างของรางเก็บน้ำ

จากการทดลองศึกษาระดับน้ำในช่องเก็บน้ำในการทดลองแท็งก์น้ำของทอร์ริเชลลี พบว่าเมื่อเริ่มต้น ระดับน้ำที่ระยะห่างจากแท็งก์จะสูงแล้วค่อยๆ ลดลงจนระดับน้ำต่ำที่สุดที่ระยะใกล้แท็งก์ โดยที่ระดับน้ำลดลงสอดคล้องกับสมการเส้นตรงจากการคำนวณข้างต้น นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่าผนังแท็งก์ที่หนาทำให้ลำน้ำที่ไหลออกจากรูมีลักษณะแตกต่างกันในการไหลแต่ละช่วง คือ เมื่อเริ่มต้นน้ำไหลออกจากรูด้วยอัตราเร็วสูงทำให้ลำน้ำไม่สัมผัสกับผนังรู เรียกว่าการไหลแบบโพรง (cavitated flow) เมื่ออัตราเร็วของน้ำลดลง ลำน้ำเริ่มสัมผัสกับผนังรูบางส่วน เรียกการไหลแบบนี้ว่าการไหลแบบกึ่งแนบติด (semi-attached flow) การไหลแบบกึ่งแนบติดอาจเกิดจากการที่รูเปิดไม่ได้อยู่ในแนวระดับ และเมื่ออัตราเร็วของน้ำลดลงถึงค่าหนึ่ง ลำน้ำจะสัมผัสกับผนังรูทั้งหมด ซึ่งเรียกว่าการไหลแบบแนบติด (attached flow) ช่วงที่ลำน้ำเปลี่ยนจากการไหลแบบโพรงไปเป็นแบบกึ่งแนบติด และแบบกึ่งแนบติดไปเป็นแบบแนบติด หากเกิดอย่างกะทันหันจะทำให้การไหลของน้ำชะงักและเกิดความไม่เสถียร ส่งผลให้ระดับน้ำลดลงอย่างฉับพลันในช่วงนั้นๆ

ระดับน้ำในการทดลองที่รูต่างๆ มีความชันแตกต่างกัน เมื่อนำความชันของระดับน้ำแต่ละรูมาแทนในสมการเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว ในการหาความชันจะแบ่งกราฟแล้วหาเป็นช่วงๆ ตามลักษณะการไหลของลำน้ำ โดยตัดบริเวณที่ระดับน้ำลดลงอย่างฉับพลันออกพบว่าที่รู h70 ลำน้ำเป็นแบบแนบติดตลอดการทดลองตั้งแต่เริ่มต้น มีค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วเท่ากับ 0.80 ± 0.02 ที่รู h20, h25, h30, h35, h40, h45, h50, h55 และ h60 สามารถแบ่งช่วงการไหลของลำน้ำได้ 2 ช่วง คือช่วงการไหลแบบโพรง และการไหลแบบกึ่งแนบติดกับแนบติด โดยช่วงการไหลแบบกึ่งแนบติดและแบบแนบติดถือเป็นช่วงเดียวกันเพราะเป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ จึงไม่เกิดการลดลงอย่างฉับพลันของระดับน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วของทั้งสองช่วงส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียง 1 และที่รู h65 และ h75 สามารถแบ่งช่วงการไหลของลำน้ำได้ 3 ช่วง คือช่วงการไหลแบบโพรง

การไหลแบบกึ่งแนบติด และการไหลแบบแนบติด ค่าสัมประสิทธิ์ในช่วงการไหลแบบโพรงและแบบกึ่งแนบติดมีค่าใกล้เคียงกันคือมีค่าประมาณ 1 แต่ในช่วงการไหลแบบแนบติดมีค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วประมาณ 0.9

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วมาคำนวณเลขเรย์โนลด์พบว่า เลขเรย์โนลด์ของการไหลของน้ำผ่านรูเปิดที่ระดับน้ำต่าง ๆ ตลอดการไหล (ยกเว้นที่ระดับน้ำเท่ากับรูเปิด) มีค่ามากกว่า 4000 ซึ่งหมายถึงของไหลควรมีรูปแบบการไหลแบบปั่นป่วน แต่ด้วยข้อจำกัดของความยาวท่อที่ของไหลต้องการในการปรับตัว (entrance length) ซึ่งมีค่าประมาณ $10D$ สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนหรือเท่ากับ 5 เซนติเมตรในงานวิจัยนี้ เมื่อ D คือความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (ในที่นี้คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเปิดประมาณ 5 มิลลิเมตร) แต่ในงานวิจัยนี้ใช้ผนังหนาเพียง 6 มิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่าความยาวของท่อที่จำเป็นในการปรับตัวของของไหลมากจึงไม่สามารถสรุปลักษณะการไหลโดยใช้เลขเรย์โนลด์ได้ จากการสังเกตพบว่าลำน้ำที่ไหลออกมีลักษณะเป็นระเบียบและไหลนิ่ง ซึ่งแสดงถึงการไหลแบบราบเรียบ

2. การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบายเรื่องการทดลองแท็งก์น้ำของทอริเชลลี

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้จัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่องการทดลองแท็งก์น้ำของ ทอริเชลลี เพื่อศึกษาแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องการทดลองแท็งก์น้ำของทอริเชลลี ผลสัมฤทธิ์และความคงทนของความรู้เรื่องของการไหล ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในรายวิชาฟิสิกส์ ซึ่งอภิปรายผลการวิจัยดังนี้

2.1 แนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องการทดลองแท็งก์น้ำของทอริเชลลี

การศึกษาแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่องการทดลองแท็งก์น้ำของทอริเชลลี วิเคราะห์จากคำถามเรื่องแท็งก์น้ำของทอริเชลลีจำนวน 3 ข้อ โดยแบ่งคำตอบของนักเรียนออกเป็นแนวคิดวิทยาศาสตร์ 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ถูกต้อง (CU), กลุ่มที่มีแนวคิดถูกต้องบางส่วน (PU), กลุ่มที่มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (MU) และกลุ่มที่มีแนวคิดไม่ถูกต้อง (NU) ดังที่ได้กล่าวในบทที่ 3 (หน้า 24) พิจารณาเป็นรายข้อดังต่อไปนี้

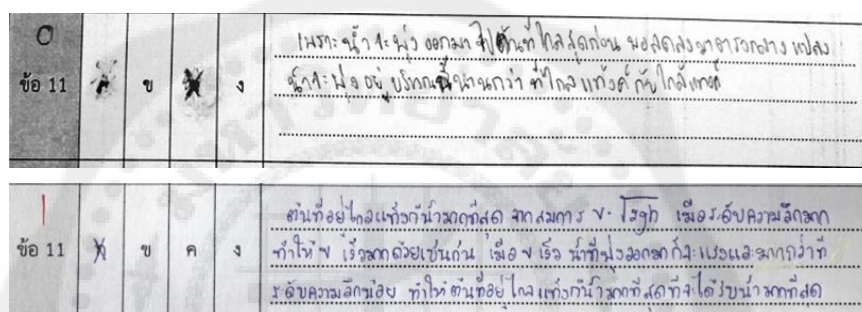
ข้อที่ 1 เมื่อเจาะรู 3 รูที่ข้างขวดน้ำซึ่งมีน้ำอยู่ข้างใน โดยที่ขวดน้ำวางอยู่บนพื้นดังภาพ น้ำที่พุ่งออกจากรูด้านข้างขวดจะมีลักษณะอย่างไร



ข้อที่ 3 จากข้อก่อนหน้านักเรียนคิดว่าผักต้นใดจะได้รับน้ำมากที่สุด เพราะเหตุใด

- ก. ต้นที่อยู่ไกลแฉ่งก้นน้ำที่สุด
- ข. ต้นที่อยู่ใกล้แฉ่งก้นน้ำที่สุด
- ค. ต้นที่อยู่กลางแปลงผัก
- ง. ทุกต้นได้รับน้ำเท่ากัน

จากคำถามการทดลองแฉ่งก้นน้ำของทอริเซลลีข้อที่ 3 ก่อนเรียนนักเรียนมีความคิดเห็นที่แตกต่างหลากหลาย เช่น ตอบข้อ ค. ปริมาณน้ำตรงกลางจะมากที่สุด เป็นต้น หลังเรียนนักเรียนสามารถอธิบายได้ถูกต้องมากขึ้นว่าปริมาณน้ำจะขึ้นอยู่กักระยะทาง เนื่องจากตอนเริ่มต้นน้ำมีอัตราการไหลสูงและค่อยๆ ลดลง คำตอบที่ถูกต้องจึงเป็นข้อ ก. ต้นที่อยู่ไกลแฉ่งก้นน้ำที่สุด ภาพประกอบ 36 แสดงตัวอย่างคำตอบของนักเรียน



ภาพประกอบ 36 ตัวอย่างคำตอบข้อที่ 3 ของนักเรียนก่อนเรียน (บน) และหลังเรียน (ล่าง)

จากการวิเคราะห์การตอบคำถามทั้งสามข้อของนักเรียน ทั้งก่อนและหลังเรียนพบว่า หลังเรียนนักเรียนตอบคำถามได้ถูกต้องและให้เหตุผลที่ถูกต้อง สมเหตุสมผลมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าหลังการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เรื่องการทดลองแฉ่งก้นน้ำของทอริเซลลี นักเรียนมีการพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์และให้เหตุผลได้ดีขึ้น

2.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ก่อนการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 22.29 คะแนน โดยมีจำนวนนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 60 เพียง 1 คน หรือร้อยละ 3.85 เท่านั้น ในระหว่างจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย ในขั้นตอนทำนายและอภิปราย นักเรียนจะมีโอกาสแสดงความคิดเห็นโดยใช้ความรู้เดิม ในขั้นตอนการสังเกตนักเรียนจะได้ทำการทดลองและสังเกตผลการทดลองด้วยตนเอง จากนั้นในขั้นตอนอธิบายนักเรียนจะต้องหาเหตุผลที่เหมาะสมและสมเหตุสมผล เป็นการกระตุ้นให้นักเรียนได้ศึกษาค้นคว้าความรู้ด้วยตนเองเกี่ยวกับของไหล เช่น ความดัน อัตราการไหล สมการความต่อเนื่อง สมการของแบร์นูลลี และกฎของทอริเซลลี และช่วงท้ายกิจกรรมจะมีการอภิปรายสรุปความรู้ทั้งหมดในการจัดการเรียนรู้ ด้วยเหตุนี้

ไม่เพียงแต่นักเรียนจะได้พัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องการทดลองแก๊งก์น้ำของทอริริเชลลีเท่านั้น แต่นักเรียนยังได้เรียนรู้เรื่องของไหลด้วย ทำให้หลังเรียนนักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องของไหล เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ มีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 22.29 คะแนนเป็น 41.29 คะแนน และจำนวนนักเรียนที่ได้คะแนนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 60 เพิ่มจากร้อยละ 3.85 เป็นร้อยละ 73.08 (ตาราง 3: หน้า 49)

2.3 ความคงทนของความรู้

ความคงทนของความรู้วิเคราะห์จากผลการทำแบบทดสอบเรื่องของไหล เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน 2 ครั้ง (ทดสอบหลังเรียนทันทีและหลังเรียนไปแล้ว 4 สัปดาห์) พบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนครั้งที่ 1 และหลังเรียนครั้งที่ 2 เท่ากับ 41.29 และ 39.96 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยทั้งสองครั้งด้วยสถิติค่าทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่มีอิสระต่อกัน พบว่าคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนหลังเรียนและหลังเรียนเป็นเวลา 4 สัปดาห์ไม่แตกต่างกันที่ระดับ 0.05 ดังตาราง 4 (หน้า 49) สรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบายทำให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจ เรื่องของไหลติดตัวอยู่ได้นาน เช่นเดียวกับศรีนภา ภาควงศ์ (2011: 78-86) ที่ศึกษาการพัฒนาความเข้าใจโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์เรื่องแสงและทัศนอุปกรณ์ ในรายวิชาฟิสิกส์ โดยใช้วิธีทำนาย-สังเกต-อธิบาย พบว่าการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย ช่วยให้นักเรียนพัฒนาความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์และเกิดความคงทนของความรู้

ข้อเสนอแนะ

1. การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย เป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนได้คิด หาเหตุผลด้วยตัวเอง ดังนั้นจึงควรให้เวลาสำหรับการคิดและค้นคว้า ไม่ควรเร่งรีบมากจนเกินไป
2. ผู้สอนสามารถนำการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบายไปใช้กับเนื้อหาอื่นได้
3. การอภิปรายสรุปหลังเรียน เพื่อให้แน่ใจว่านักเรียนได้ความรู้ตามจุดประสงค์การเรียนรู้ และมีความเข้าใจที่ถูกต้องไม่คลาดเคลื่อน
4. ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบต่ำเกินไป ควรมีการปรับปรุงแบบทดสอบและควรให้นักเรียนที่ทำแบบทดสอบศึกษาชุดกิจกรรมก่อนทำแบบทดสอบ



บรรณานุกรม

- ทวิช จิตรสมบูรณ์. (2553). *กลศาสตร์ของไหล*. กรุงเทพฯ: แมคกรอฮิล.
- นัชชา แดงงาม. (2557). ผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายร่วมกับการสาธิตอย่างง่ายต่อความคิดรวบยอดเรื่องการเคลื่อนที่แบบหมุน. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*. 5(1): 86-93.
- พัชรวิรินทร์ เกลี้ยงนว. (2556). ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีสอนแบบ Predict-Observe-Explain (POE) ร่วมกับเทคนิคผังกราฟิกที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. *บทความวิจัยเสนอในการประชุมหาดใหญ่วิชาการ ครั้งที่ 4 เรื่อง “การวิจัยเพื่อพัฒนาสังคมไทย”*. 529-537.
- พาสนา จุลรัตน์. (2548). *จิตวิทยาการศึกษา*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาการแนะแนวและจิตวิทยาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ภูสิทธิ์ จันทนา. (2558). การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายเพื่อยกระดับความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่ายของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*. 6(1): 1-13.
- วิชิต บัวแก้ว. (2540). *กลศาสตร์ของไหลประยุกต์*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- ศรีนภา ภาคภูมิ. (2011). การพัฒนาความเข้าใจโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ รายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แสงและทัศนอุปกรณ์ของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้วิธี Predict-Observe-Explain (POE). *วารสารศึกษาศาสตร์ ฉบับวิจัยบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 5(4): 78-86.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2555). *คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม 5*. กรุงเทพฯ: สกสศ.
- สุชาติ วงศ์สุวรรณ. (2542). *การเรียนรู้สำหรับศตวรรษที่ 21 การเรียนรู้ที่ผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยตนเอง “โครงการ”*. กรุงเทพฯ: ศูนย์พัฒนาหลักสูตร กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ.
- สุนันท์ บุราณรมย์ และคนอื่นๆ. (2542). *วิทยาศาสตร์เพื่อคุณภาพชีวิต*. กรุงเทพฯ: คอมฟอร์ม.
- Alan Bates. (2013). Pressure-Height Properties of Water with Automated Data Collection. *The Physics Teacher*. 51: 19-21.
- Farmer, T.; & Gass, F. (1992). Physical Demonstrations in the Calculus Classroom. *The college Mathematics Journal*. 23(2): 146–148.
- Gende, D. (2014). *AP Physics2: Algebra-Based Course Planning and Pacing Guide*. Texas: CollegeBoard.
- Hamill L., (2001). *Understanding Hydraulics*. New York, N.J.: Palgrave.

- Joseph B. Franzini and E. John Finnemore. (1997). *Fluid mechanics with engineering applications*. New York : McGraw-Hill.
- Katie Sard. (2014). *Predict, Share, Observe, and Explain (PSOE) Lab: Why is it important to monitor the tides, and how is it done?*. Oregon, United State: Isaac Newton Magnet School (INMS).
- Kedibone Magdeline Tlala. (2011). *The Effect of Predict-Observe-Explain Strategy on Learner's Misconceptions about Dissolves Salts*. Mini dissertation for the degree of master of Education. University of Limpopo.
- Md Tauseef Ibrahim; & Abraham Malik. (2015). *The Continuity Equation*. Retrieved September 17, 2017 from <http://advancedmathematicalresearch.blogspot.com>
- Patrick L. Brown. (2015). Students' Investigations in Temperature and Pressure. *Science Activities*, 52: 9-14.
- Powell J. A., Kohler B. R., Haefner J. W. and Bodily J. (2012). Carrying BioMath Education in Leaky Bucket. *Bulletin of Mathematical Biology*. 74(9): 2232–2264.
- Ramamurthi, K. and Nandakumar, K. (1999). Characteristics of Flow through Small Sharp-Edge Cylindrical Orifices. *Flow Measurement and Instrumentation*. 10: 133-143.
- Songumpai, N., Sumranwanich, W. and Chatmaneerungcharoen, S. (2016). *Thai Student Teachers' Prior Understanding of Nature of Science (NOS)*: Proceedings of The 4th International Conference of Science Educators and Teachers (ISET).
- Taha Massalha, Rafael M. Digilov. (2014). Experimental Evidence of Capillary Interruption of a Liquid Jet. *Scientific Research*. 4: 392-398.
- Vjera Lopac (2015). Water Jets from Bottles, Buckets, Barrels, and Vases with Holes. *The Physics Teacher*, 53: 169.
- White, R. T.; & Gunstone, R. F. (1992). *Probing Understanding*. Great Britain: Falmer Press.

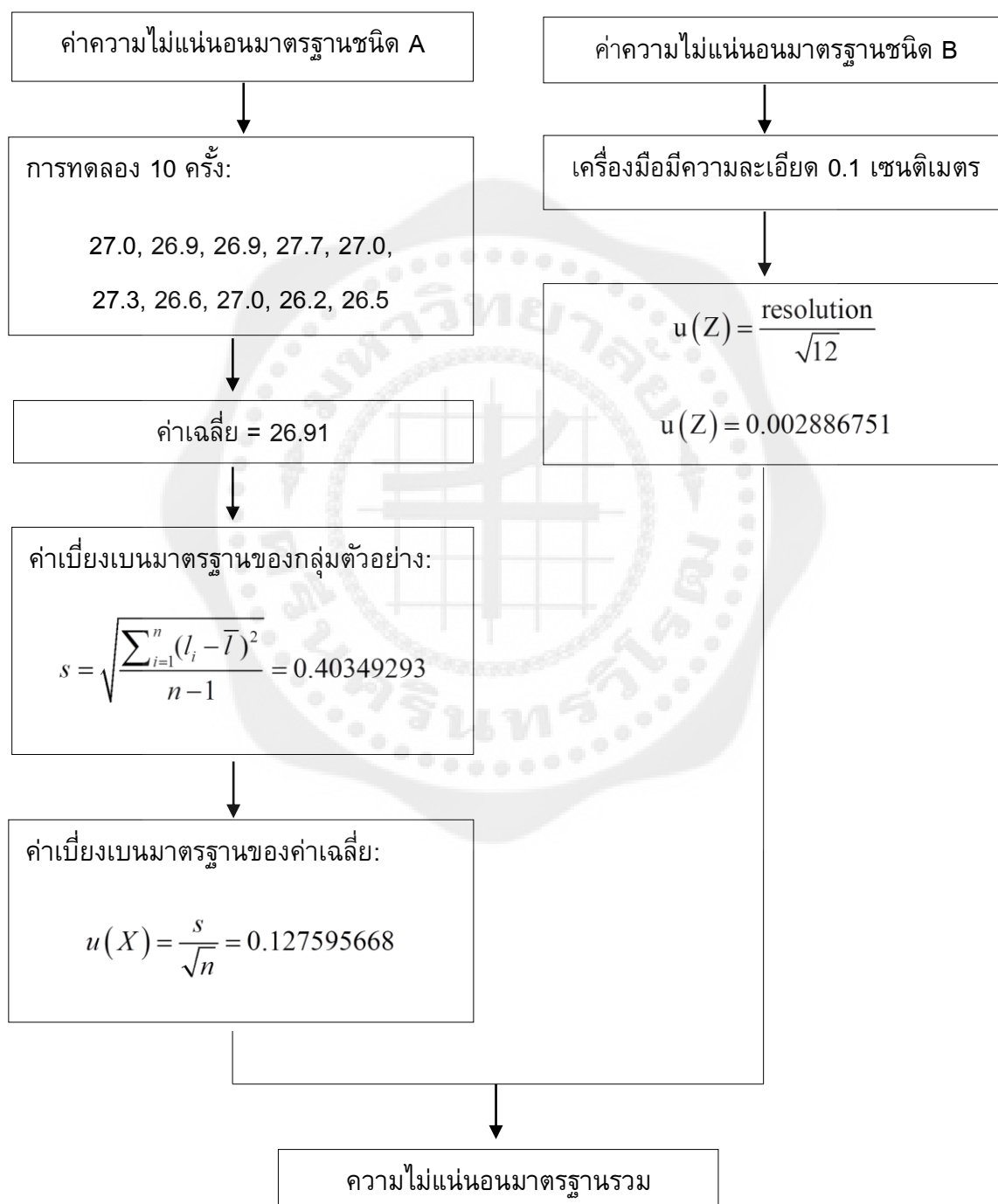


ภาคผนวก ก

- ตัวอย่างวิธีหาค่าความไม่แน่นอนของผลการทดลอง
- ตัวอย่างวิธีหาค่า C_v
- ตัวอย่างวิธีหาเลขเรย์โนลด์
- ตัวอย่างวิธีหาค่าความไม่แน่นอนของเลขเรย์โนลด์
- กราฟเลขเรย์โนลด์ที่ทุก ๆ รูเปิด

ตัวอย่างวิธีหาค่าความไม่แน่นอนของผลการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างการหาค่าความไม่แน่นอนของความสูงของระดับน้ำในช่องเก็บน้ำแต่ละช่อง ในการทดลองที่รู้เปิด h20 ที่ระยะ (x) เท่ากับ 55.45 เซนติเมตร ทำได้โดยการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 10 ครั้ง แล้วนำความสูงของระดับน้ำที่วัดได้มาคำนวณทางสถิติดังต่อไปนี้



ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม

$$u(M) = \sqrt{u(X)^2 + u(Z)^2}$$

ค่าองศาอิสระ

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y)}{v_i}} 9.01024$$

ปัดเศษทศนิยม จะได้ $v_{eff} = 9$

เทียบตัวประกอบครอบคลุม (coverage factor; k)
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตาราง1
จะได้ว่า $k=2.26$

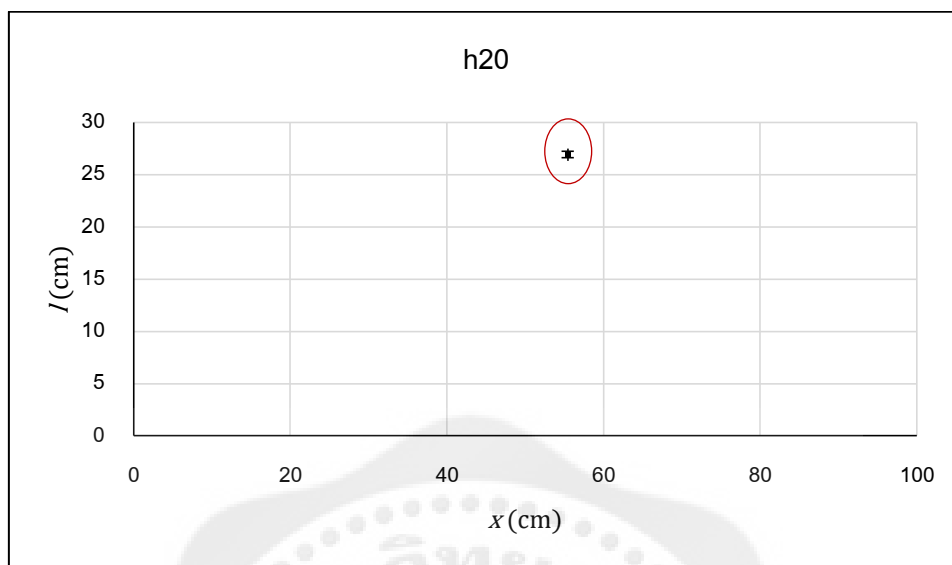
$$U(M) = ku(M)$$

$$U(M) = (2.26)(0.121082296)$$

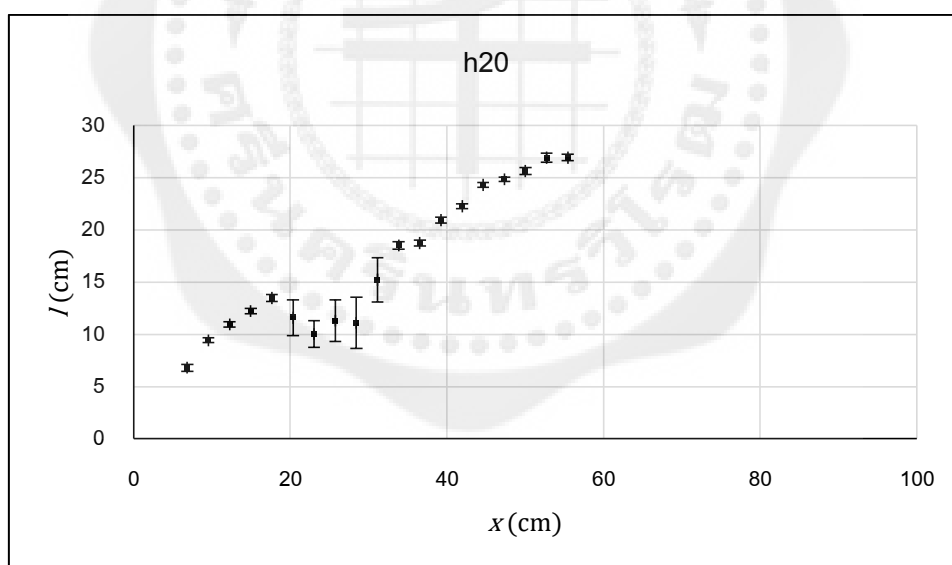
$$U(M) = 0.2736445988$$

จะได้ว่า สำหรับรูปเปิด h20
ที่ระยะ (x) เท่ากับ 55.45 เซนติเมตร
ระดับน้ำมีความสูง 26.9 ± 0.3 เซนติเมตร
(ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

พลอตผลการคำนวณที่ได้ในกราฟผลการทดลองได้ดังนี้



เมื่อทำการคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าความไม่แน่นอนของระดับน้ำที่ระยะ x ทั้งหมดแล้ว
จะได้กราฟข้อมูลผลการทดลองดังนี้

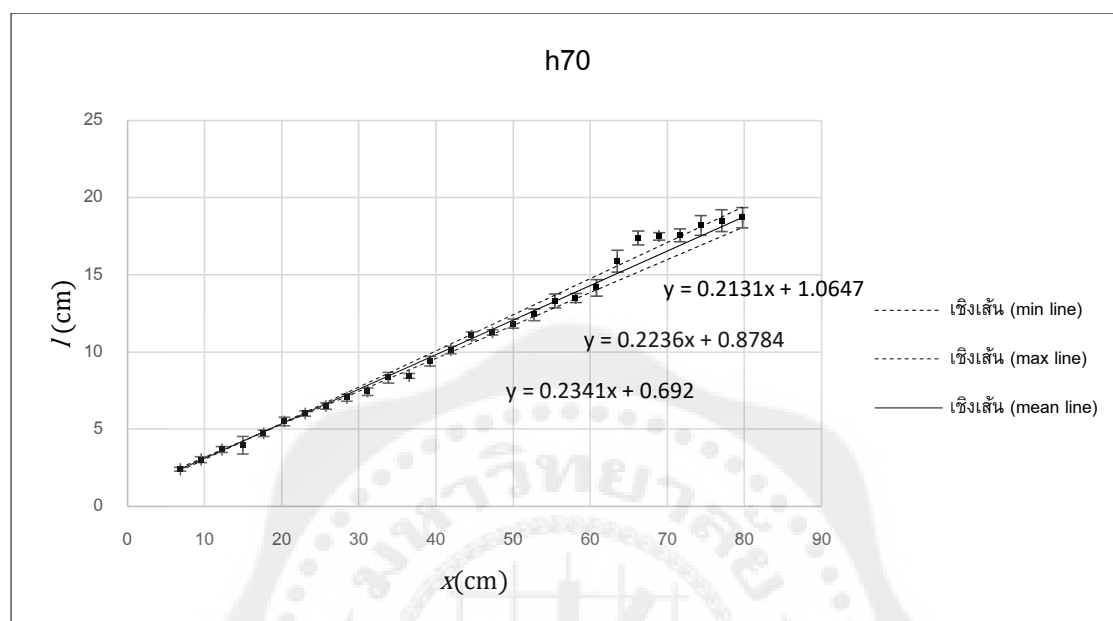


ตาราง1 ตัวประกอบครอบคลุม (k) 95% ซึ่งเป็นฟังก์ชันขององศาอิสระ (v) (Kirkup, L., 2006)

องศาอิสระ, v	ตัวประกอบครอบคลุม, k
2	4.30
3	3.18
4	2.78
5	2.57
6	2.45
7	2.36
8	2.31
9	2.26
10	2.23
11	2.20
12	2.18
13	2.16
14	2.14
15	2.13
16	2.12
17	2.11
18	2.10
19	2.09
20	2.09
25	2.06
30	2.04
40	2.02
50	2.01
100	1.98
Infinite	1.96

ตัวอย่างวิธีหาค่า C_v

1. กรณีที่ระดับน้ำไม่มีการลดลงอย่างกะทันหัน



คำนวณค่า C_v จากสมการ

$$C_v = \sqrt{\frac{A_1}{2bh(\text{slope})}}$$

จากกราฟ

- ความชันของเส้นตรงเฉลี่ย (mean line) เท่ากับ 0.2236 จะได้ค่า $C_v = 0.799125432$
- ความชันของเส้นตรงค่าต่ำสุด (min line) เท่ากับ 0.2128 จะได้ค่า $C_v^{(M)} = 0.818576226$
- ความชันของเส้นตรงค่าสูงสุด (max line) เท่ากับ 0.2341 จะได้ค่า $C_v^{(m)} = 0.780998402$

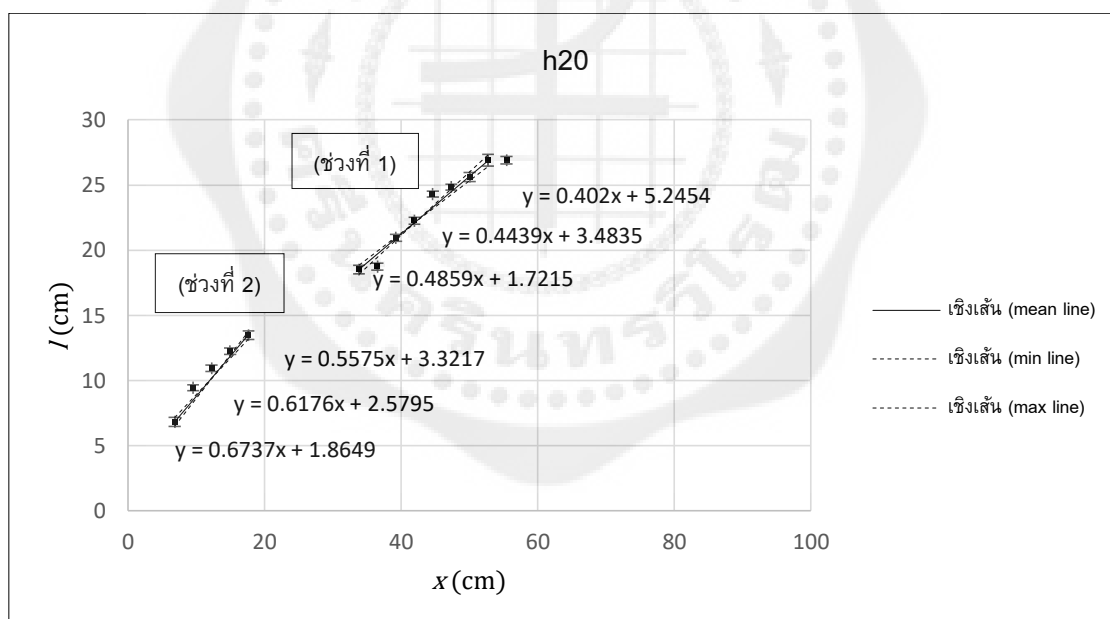
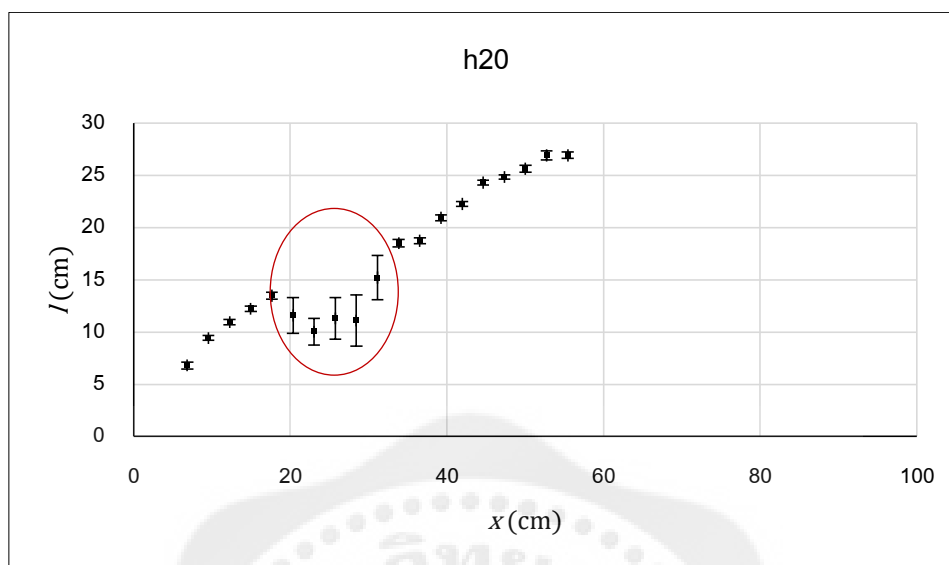
ค่าความไม่แน่นอนของ C_v

$$U(C_v) = \frac{C_v^{(M)} - C_v^{(m)}}{2}$$

$$U(C_v) = \frac{0.818576226 - 0.780998402}{2}$$

ดังนั้น ค่า C_v ของการทดลอง h70 มีค่าเท่ากับ 0.80 ± 0.02

2. กรณีที่ระดับน้ำมีการลดลงอย่างกะทันหัน 1 ช่วง



คำนวณค่า C_v จากสมการ

$$C_v = \sqrt{\frac{A_1}{2bh(\text{slope})}}$$

จากกราฟช่วงที่ 1

- ความชันของเส้นตรงเฉลี่ย (mean line) เท่ากับ 0.4439 จะได้ค่า $C_v = 1.061065763$
- ความชันของเส้นตรงค่าต่ำสุด (min line) เท่ากับ 0.4020 จะได้ค่า $C_v^{(M)} = 1.114992247$
- ความชันของเส้นตรงค่าสูงสุด (max line) เท่ากับ 0.4859 จะได้ค่า $C_v^{(m)} = 1.014171553$

ค่าความไม่แน่นอนของ C_v

$$U(C_v) = \frac{C_v^{(M)} - C_v^{(m)}}{2}$$

$$U(C_v) = \frac{1.114992247 - 1.014171553}{2}$$

ดังนั้น ค่า C_v ของการทดลอง h20 ในช่วงที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1.06 ± 0.05

จากกราฟช่วงที่ 2

- ความชันของเส้นตรงเฉลี่ย (mean line) เท่ากับ 0.6176 จะได้ค่า $C_v = 0.901096$
- ความชันของเส้นตรงค่าต่ำสุด (min line) เท่ากับ 0.5575 จะได้ค่า $C_v^{(M)} = 0.946809133$
- ความชันของเส้นตรงค่าสูงสุด (max line) เท่ากับ 0.6715 จะได้ค่า $C_v^{(m)} = 0.861294354$

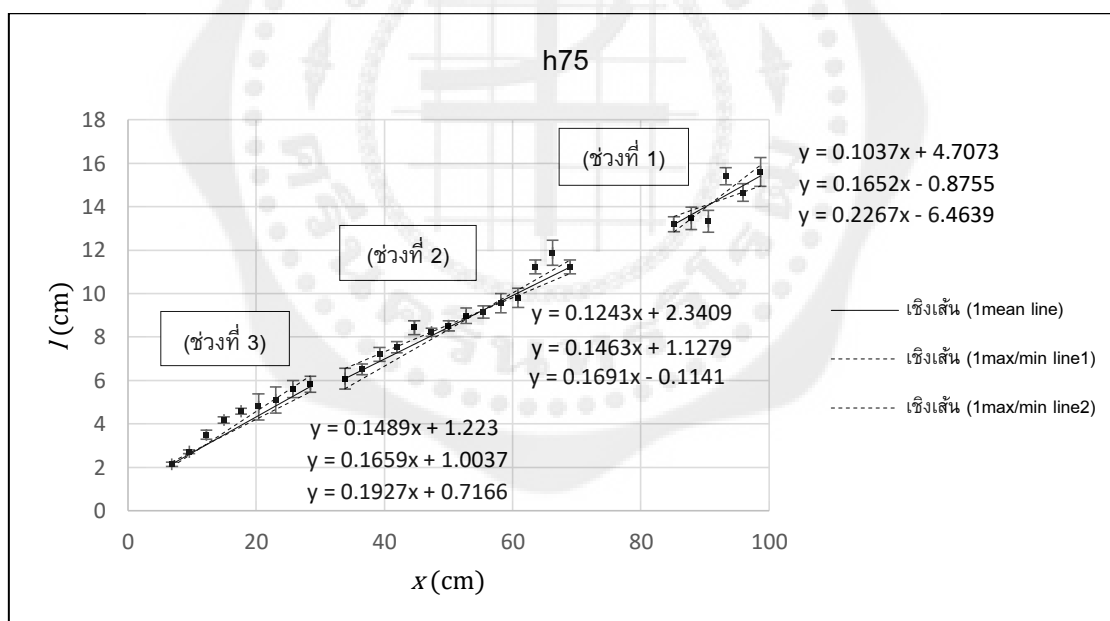
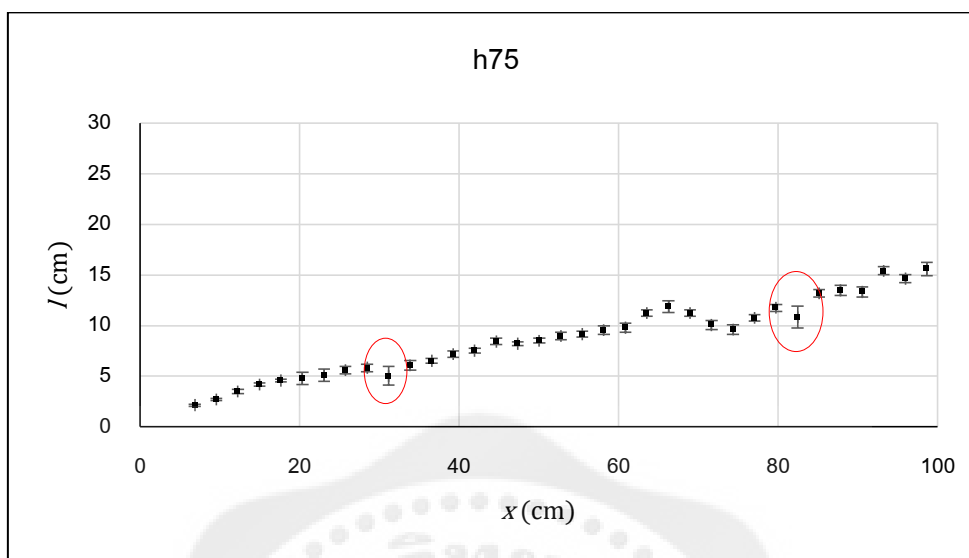
ค่าความไม่แน่นอนของ C_v

$$U(C_v) = \frac{C_v^{(M)} - C_v^{(m)}}{2}$$

$$U(C_v) = \frac{0.946809133 - 0.861294354}{2}$$

ดังนั้น ค่า C_v ของการทดลอง h20 ในช่วงที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.90 ± 0.04

3. กราฟที่ระดับน้ำมีการลดลงอย่างกะทันหัน 2 ช่วง



คำนวณค่า C_v จากสมการ

$$C_v = \sqrt{\frac{A_t}{2bh(\text{slope})}}$$

จากกราฟช่วงที่ 1

- ความชันของเส้นตรงเฉลี่ย (mean line) เท่ากับ 0.1652 จะได้ค่า $C_v = 0.898181734$
- ความชันของเส้นตรงค่าต่ำสุด (min line) เท่ากับ 0.1037 จะได้ค่า $C_v^{(M)} = 1.13365227$
- ความชันของเส้นตรงค่าสูงสุด (max line) เท่ากับ 0.2267 จะได้ค่า $C_v^{(m)} = 0.766731808$

ค่าความไม่แน่นอนของ C_v

$$U(C_v) = \frac{C_v^{(M)} - C_v^{(m)}}{2}$$

$$U(C_v) = \frac{1.13365227 - 0.766731808}{2}$$

ดังนั้น ค่า C_v ของการทดลอง h75 ในช่วงที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.90 ± 0.18

จากกราฟช่วงที่ 2

- ความชันของเส้นตรงเฉลี่ย (mean line) เท่ากับ 0.1463 จะได้ค่า $C_v = 0.954436583$
- ความชันของเส้นตรงค่าต่ำสุด (min line) เท่ากับ 0.1243 จะได้ค่า $C_v^{(M)} = 1.035460833$
- ความชันของเส้นตรงค่าสูงสุด (max line) เท่ากับ 0.1691 จะได้ค่า $C_v^{(m)} = 0.887763809$

ค่าความไม่แน่นอนของ C_v

$$U(C_v) = \frac{C_v^{(M)} - C_v^{(m)}}{2}$$

$$U(C_v) = \frac{1.035460833 - 0.887763809}{2}$$

ดังนั้น ค่า C_v ของการทดลอง h75 ในช่วงที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.95 ± 0.07

จากกราฟช่วงที่ 3

- ความชันของเส้นตรงเฉลี่ย (mean line) เท่ากับ 0.1659 จะได้ค่า $C_v = 0.896284833$
- ความชันของเส้นตรงค่าต่ำสุด (min line) เท่ากับ 0.1489 จะได้ค่า $C_v^{(M)} = 0.946066994$
- ความชันของเส้นตรงค่าสูงสุด (max line) เท่ากับ 0.1927 จะได้ค่า $C_v^{(m)} = 0.831626621$

ค่าความไม่แน่นอนของ C_v

$$U(C_v) = \frac{C_v^{(M)} - C_v^{(m)}}{2}$$

$$U(C_v) = \frac{0.946066994 - 0.831626621}{2}$$

ดังนั้น ค่า C_v ของการทดลอง h75 ในช่วงที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.90 ± 0.06

ตัวอย่างวิธีหาเลขเรย์โนลด์

เลขเรย์โนลด์เป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงสภาพการไหลของของไหล ถ้าเลขเรย์โนลด์มีค่าน้อยกว่า 2000 หมายถึงน้ำมีการไหลแบบราบเรียบ ถ้าเลขเรย์โนลด์มีค่าอยู่ระหว่าง 2000 ถึง 4000 หมายถึงน้ำ มีการไหลแบบช่วงต่อและถ้าเลขเรย์โนลด์มีค่ามากกว่า 4000 หมายถึงน้ำมีการไหลแบบปั่นป่วน ในงานวิจัยนี้สามารถคำนวณหาเลขเรย์โนลด์สามารถได้ดังนี้

จากสมการ (2.16)

$$Re = \frac{uD}{\nu}$$

ซึ่งในกรณีนี้คือ

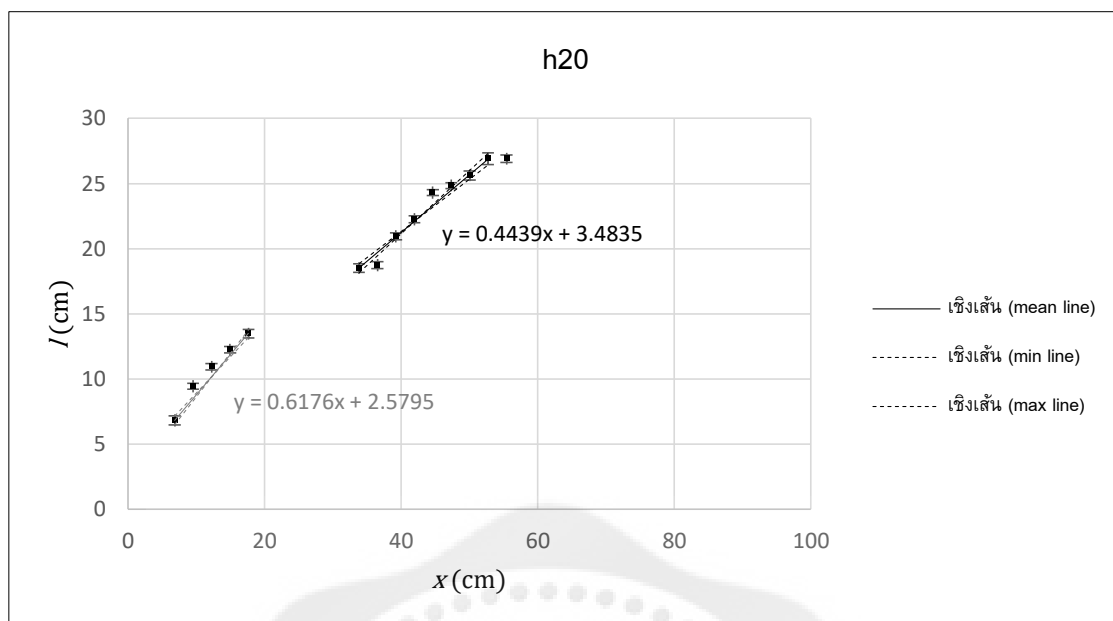
$$Re = \frac{u_2 D}{\nu} \quad (ก.1)$$

แทนสมการ (4.6) ใน (2.13) จะได้

$$\begin{aligned} u_2 &= C_v \sqrt{2g(H-h)} \\ &= \sqrt{\frac{A_1}{2bh(slope)}} \cdot \sqrt{2g(H-h)} \end{aligned}$$

แทนค่า u_2 ในสมการ (ก.1) จะได้สมการที่ใช้ในการหาเลขเรย์โนลด์ซึ่งคำนวณได้จากความชันของกราฟ ดังนี้

$$Re(slope) = \frac{D}{\nu} \sqrt{\frac{A_1}{bh(slope)}} \cdot \sqrt{g(H-h)} \quad (ก.2)$$



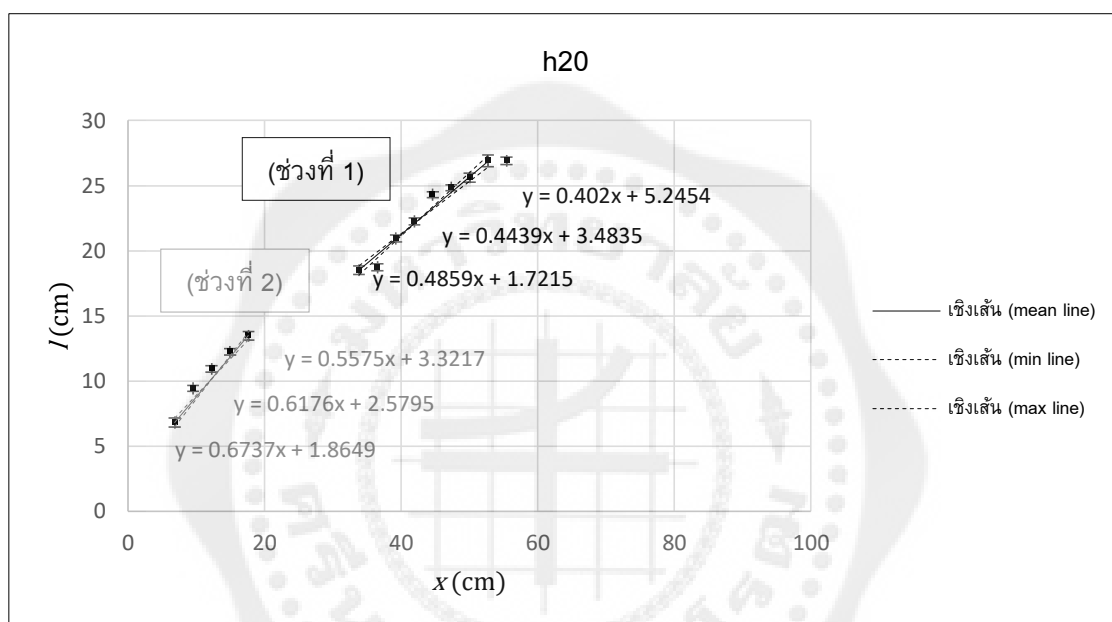
ในการทดลอง h20 เมื่อพิจารณารูปกราฟในช่วงที่ 1 เราพบว่าค่าความชันของเส้นตรงที่ได้จากการฟิตกราฟค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.4439 เมื่อแทนค่าความชันเฉลี่ยลงในสมการ (ก.2) จะได้

$$\begin{aligned}
 Re(slope) &= \frac{D}{\nu} \sqrt{\frac{A_1}{bh(slope)}} \cdot \sqrt{g(H-h)} \\
 &= \frac{0.5 \text{ cm}}{0.00836 \text{ cm}^2 / \text{s}} \sqrt{\frac{399.8156 \text{ cm}^2}{(20 \text{ cm})(20 \text{ cm})(0.4439)}} \sqrt{(980 \text{ cm}^2 / \text{s})(100 \text{ cm} - 20 \text{ cm})} \\
 &= 25129.22285
 \end{aligned}$$

จะได้ว่า สำหรับรูเปิด h20 ที่ระยะ $H-h$ เท่ากับ 80 เซนติเมตร ($H=100$ เซนติเมตร และ $h=20$ เซนติเมตร) เลขเรย์โนลด์มีค่าเท่ากับ 25129.22285 หรือ 2.51×10^4

ตัวอย่างวิธีหาค่าความไม่แน่นอนของเลขเรย์โนลด์

เลขเรย์โนลด์สามารถคำนวณได้จากความชันของกราฟผลการทดลอง ดังนั้นค่าความชันของกราฟจึงมีผลต่อการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของเลขเรย์โนลด์ด้วย ตัวอย่างเช่น ในการทดลอง h20 เมื่อพิจารณากราฟในช่วงที่ 1 เราพบว่ามีค่าความชัน 3 ค่า ได้แก่ ค่าความชันของเส้นตรงที่ได้จากการฟิตกราฟค่าเฉลี่ย ค่าความชันต่ำสุด และค่าความชันสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.4439, 0.4020 และ 0.4859 ตามลำดับ



หาค่าความไม่แน่นอนของเลขเรย์โนลด์ (Re) ของการทดลอง h20 ที่ระยะ $H - h = 80$ เซนติเมตร ($H = 100$ เซนติเมตร และ $h = 20$ เซนติเมตร) จากสมการค่าความไม่แน่นอนรวม (u) (Kirkup, L., 2006, หน้า 51)

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad (\text{ก.3})$$

เมื่อ $y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_i$ จะได้

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)}$$

ดังนั้นเมื่อมองเลขเรย์โนลด์เป็นฟังก์ชันของ slope จะได้ว่า

$$U(Re) = \sqrt{\left(\frac{dRe(\text{slope})}{dslope} \right)^2 U^2(\text{slope})} \quad (\text{ก.4})$$

โดยที่

$$\frac{dRe(slope)}{dslope} = -\frac{D}{v} \sqrt{g(H-h)} \sqrt{\frac{A_1}{bh}} \frac{1}{\sqrt{(slope)^3}}$$

$$\frac{dRe(slope)}{dslope} = -\frac{0.5cm}{0.00836cm^2/s} \sqrt{980cm^2/s(100cm-20cm)} \sqrt{\frac{399.8156cm^2}{(20cm)(20cm)}} \frac{1}{\sqrt{(0.4439)^3}}$$

$$\frac{dRe(slope)}{dslope} = -9570.534641$$

เมื่อ A_1 คือ พื้นที่ตัดขวางของแท่งกั้นน้ำ (ตารางเซนติเมตร)
 b คือ ความกว้างของรางที่ใช้เก็บน้ำ (เซนติเมตร)

และ

$$U(slope) = \frac{(max/minline2 - max/minline1)}{2}$$

$$U(slope) = \frac{0.4859 - 0.4020}{2} = 0.04195$$

แทนค่า $\frac{dRe(slope)}{dslope}$ และ $U(slope)$ ในสมการ (ก.4) จะได้

$$U(Re) = \sqrt{\left(\frac{dRe(slope)}{dslope}\right)^2 U^2(slope)}$$

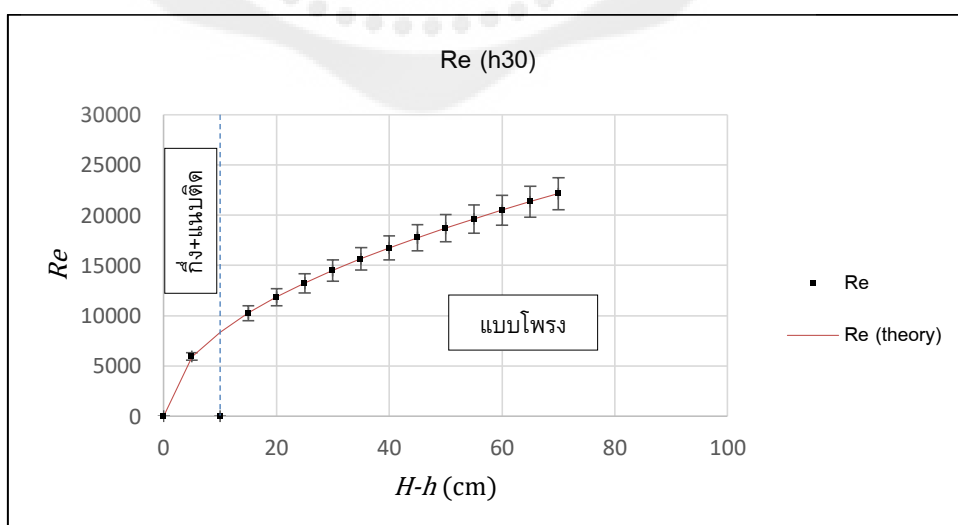
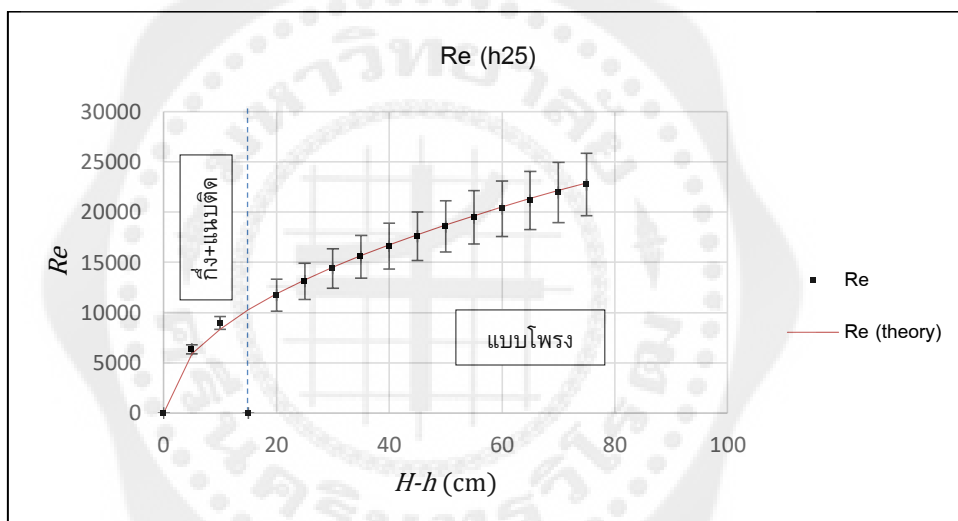
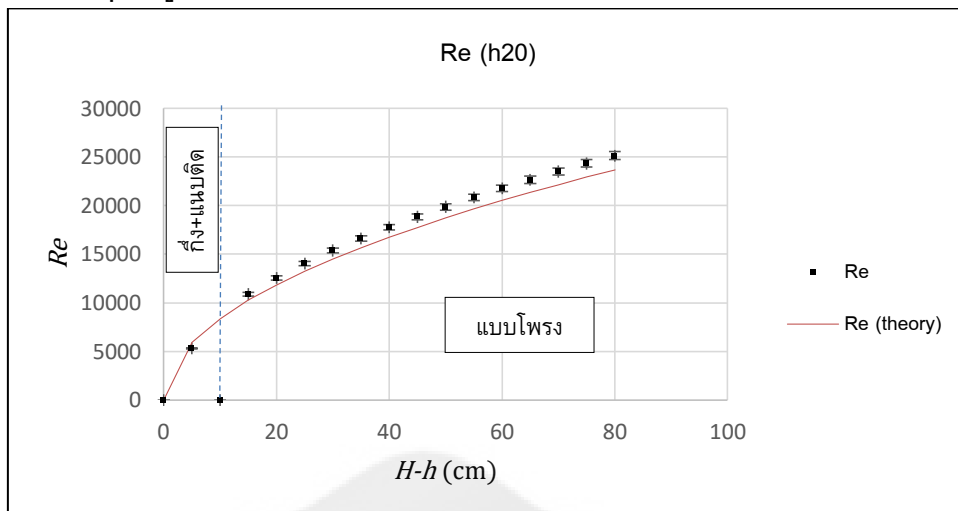
$$= \sqrt{(-9570.534641)^2 (0.04195)^2}$$

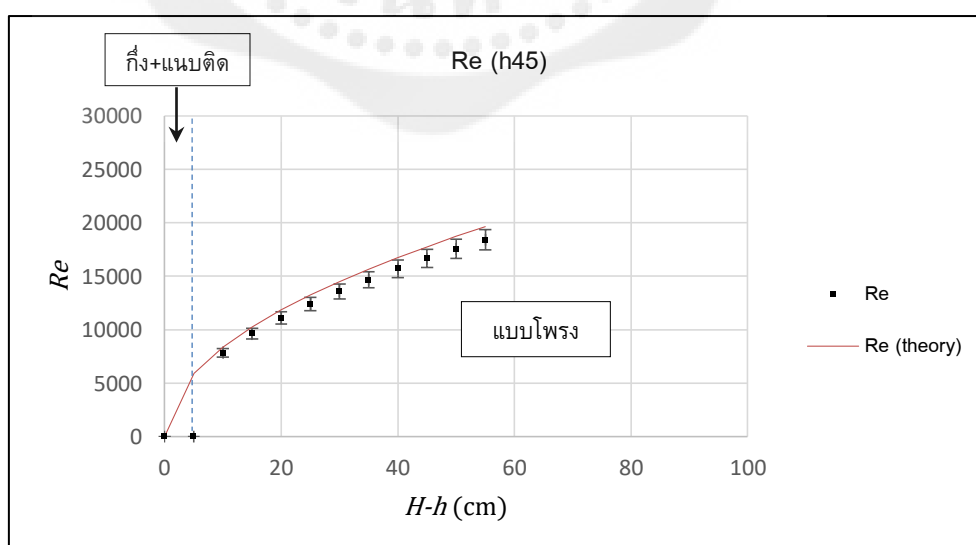
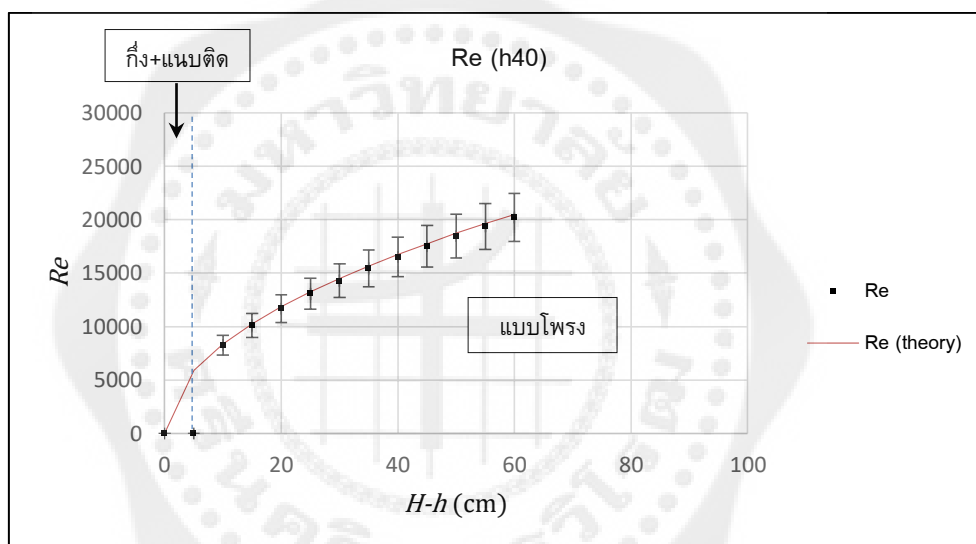
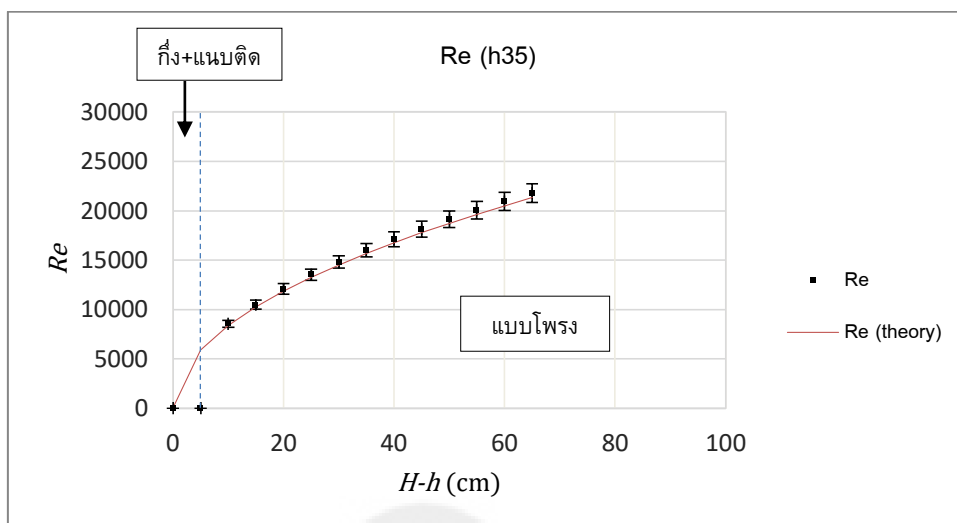
จะได้

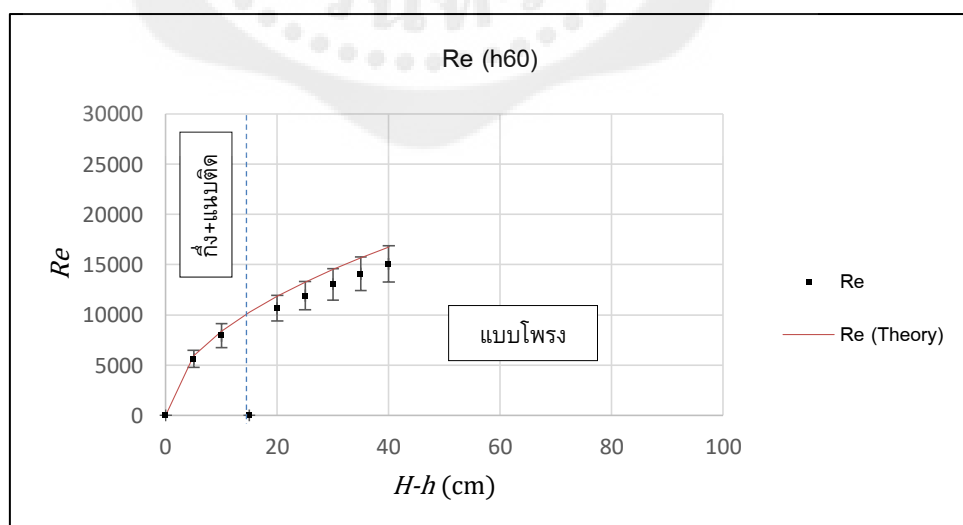
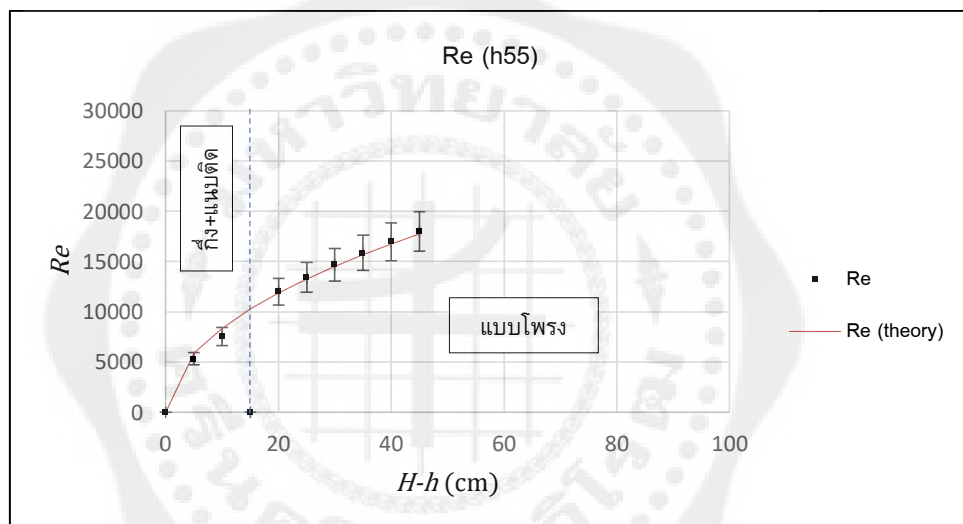
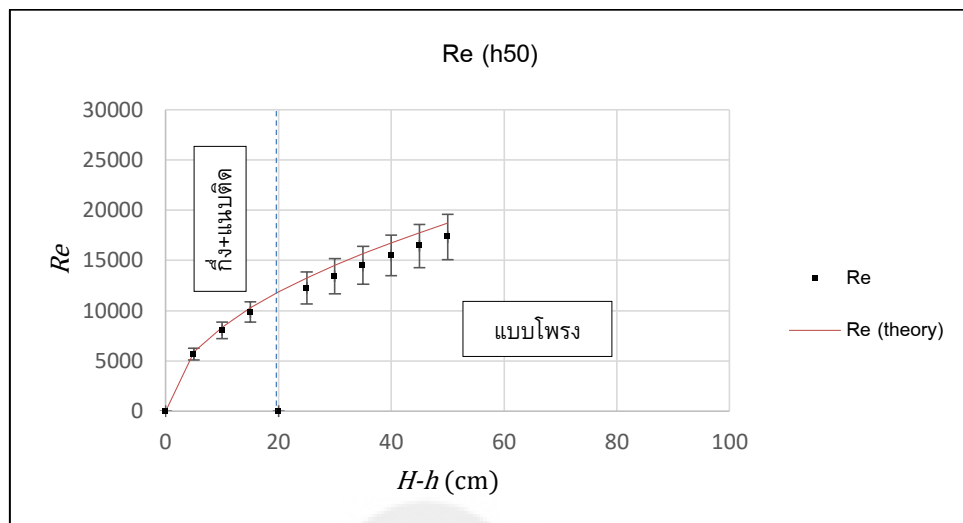
$$U(Re) = 401.4839282$$

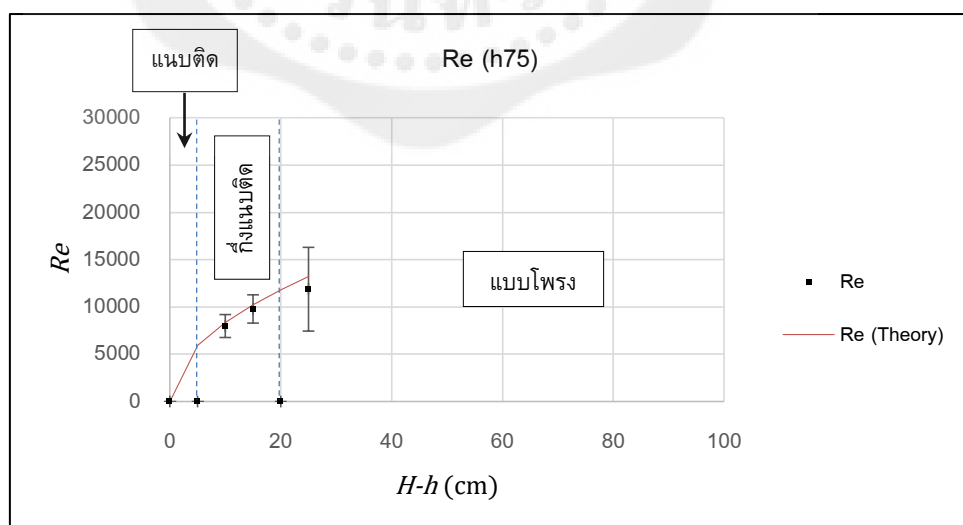
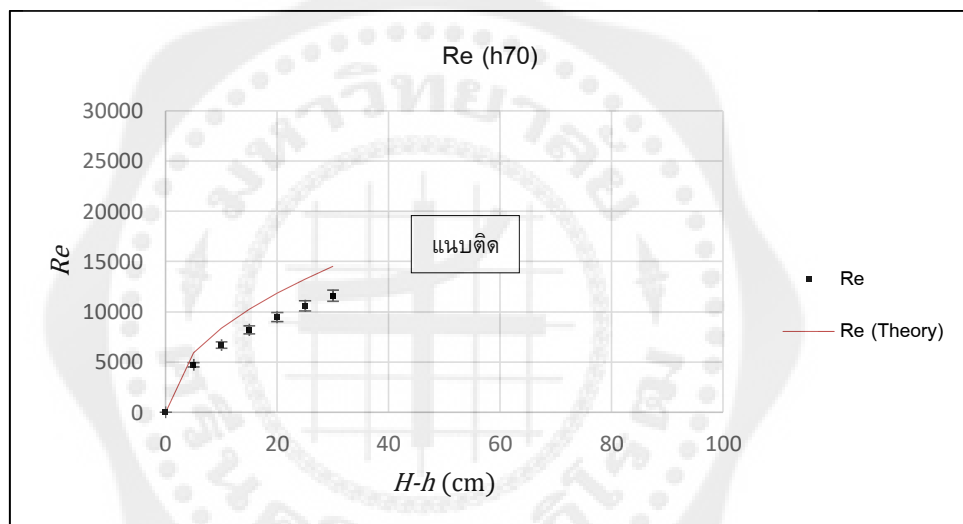
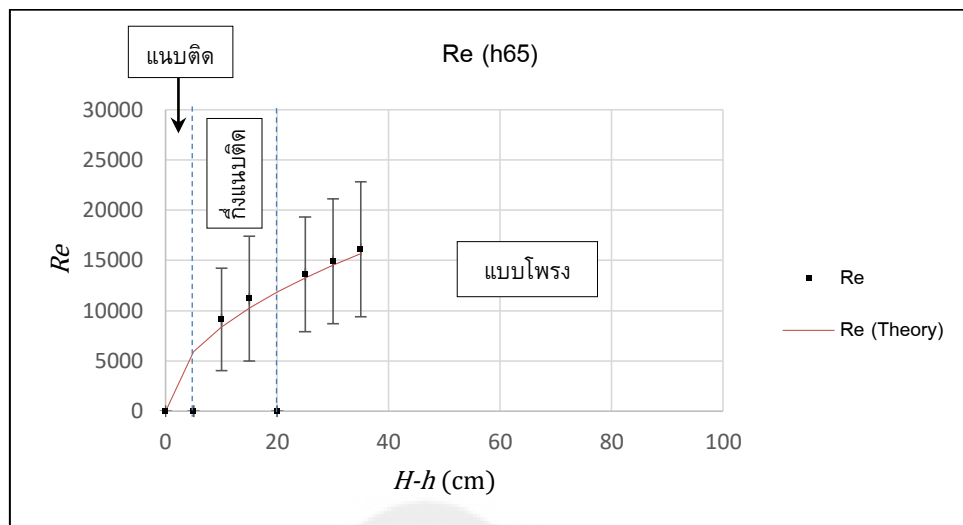
จากค่าของเลขเรย์โนลด์ที่คำนวณได้ในหัวข้อก่อนหน้า จะได้ว่า สำหรับรูเปิด h20 ที่ระยะ $H-h$ เท่ากับ 80 เซนติเมตร ($H=100$ เซนติเมตร และ $h=20$ เซนติเมตร) เลขเรย์โนลด์มีค่าเท่ากับ $25129.22285 \pm 401.4839282$ หรือ $(2.51 \pm 0.04) \times 10^4$

กราฟเลขเรย์โนลด์ที่ทุก ๆ รูเปิด









ภาคผนวก ข

- รายนามผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือในการทำวิจัย
- ผลการประเมินแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่องการทดลองแก๊งก์น้ำของทอริเชลลี
- ผลการประเมินเอกสารประกอบการเรียนเรื่องของไหล
- ผลการประเมินแบบทดสอบ / ประเมินความสอดคล้องของข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้ด้านความรู้ เรื่อง ของไหล

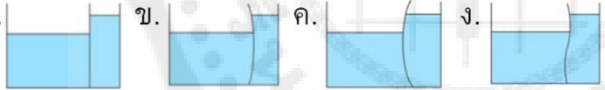
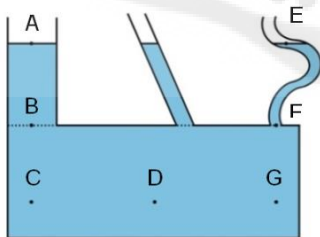
ตาราง ข.1 ค่าดัชนีความสอดคล้องของการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อภิปราย-สังเกต-อธิบาย (IOC) เรื่องการทดลองแท่งก้ำน้ำของทอริริเซลลี

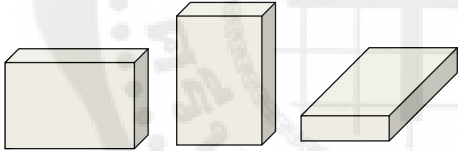
รายการประเมิน	ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ			IOC
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	
1. แผนการจัดการเรียนรู้สอดคล้องกับหน่วยการเรียนรู้ที่กำหนดไว้	+1	+1	+1	1
2. แผนการจัดการเรียนรู้มีองค์ประกอบสำคัญครบถ้วน	+1	+1	+1	1
3. แผนการจัดการเรียนรู้มีองค์ประกอบต่างๆ สอดคล้องสัมพันธ์กัน	+1	+1	+1	1
4. จุดประสงค์การเรียนรู้มีความชัดเจนครอบคลุมเนื้อหาสาระ	+1	+1	+1	1
5. จุดประสงค์การเรียนรู้พัฒนาผู้เรียนครอบคลุมด้านความรู้ ทักษะกระบวนการและเจตคติ	+1	+1	+1	1
6. การเขียนสาระสำคัญในแผนถูกต้อง	+1	+1	+1	1
7. กำหนดเนื้อหาสาระเหมาะสมกับคาบเวลา	+1	+1	+1	1
8. การจัดการเรียนรู้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหาสาระ	+1	+1	+1	1
9. การจัดการเรียนรู้เหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน	+1	+1	+1	1
10. การจัดการเรียนรู้มีความหลากหลายและสามารถปฏิบัติได้จริง	+1	+1	+1	1
11. การจัดการเรียนรู้สามารถพัฒนาครอบคลุมด้านองค์ความรู้ กระบวนการและเจตคติ	+1	+1	+1	1
12. การจัดการเรียนรู้เน้นให้นักเรียนปฏิบัติจริง	+1	+1	+1	1
13. การจัดการเรียนรู้เป็นกิจกรรมที่ส่งเสริมกระบวนการคิดของนักเรียน	+1	+1	+1	1
14. นักเรียนได้รับมอบหมายงานที่ได้ใช้ความรู้ ความคิดมากกว่าการทำตามที่คุณกำหนด	+1	+1	+1	1
15. มีการใช้สื่อประกอบในการจัดการเรียนรู้	+1	+1	+1	1
16. มีการวัดและประเมินผลที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	+1	+1	+1	1
17. มีการระบุเครื่องมือวัดและประเมินผลไว้อย่างชัดเจน	+1	+1	+1	1

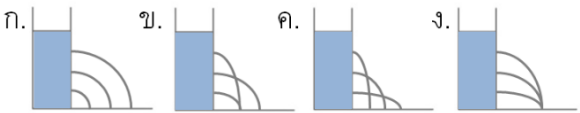
ตาราง ข.2 ค่าดัชนีความสอดคล้องของเอกสารประกอบการเรียน (IOC) เรื่อง ของไหล

รายการประเมิน	ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ			IOC
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	
1. เนื้อหาสาระ				
1.1 เนื้อหาครบถ้วนครอบคลุม	+1	+1	+1	1
1.2 เนื้อหาถูกต้อง	+1	+1	+1	1
1.3 เนื้อหาเหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้	+1	+1	+1	1
1.4 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	+1	+1	+1	1
2. รูปแบบการเขียน				
2.1 การจัดลำดับเนื้อหาเหมาะสม	+1	+1	+1	1
2.2 รูปแบบการเขียนมีความชัดเจน	+1	+1	+1	1
2.3 ใช้ภาษาเข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน	+1	+1	+1	1

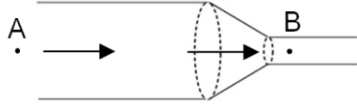
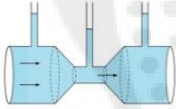
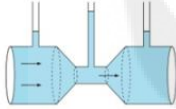
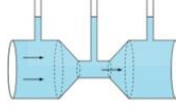
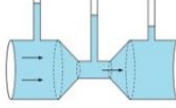
ตาราง ข.3 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบ (IOC) เรื่องของไหล
ประกอบด้วย แบบเลือกตอบสองลำดับขั้น จำนวน 13 ข้อ และแบบอัตนัย จำนวน 6 ข้อ

ข้อ	รายการประเมิน	ระดับ พฤติกรรม	IOC	p	r	หมายเหตุ
1	บัวรดน้ำสามใบพื้นที่บริเวณกันมีขนาดเท่ากันทั้งหมด แต่ความสูงของบัวรดน้ำและฝักบัวแตกต่างกันดังรูป บัวรดน้ำใบไหนจะใส่น้ำได้มากที่สุด จงอธิบาย  ก. ใบที่ 1 ข. ใบที่ 2 ค. ใบที่ 3 ง. ใส่น้ำได้เท่ากัน	การ นำไปใช้	0.67	0.48	0.56	ใช้ได้
2	ตลับลาใบหนึ่งเปิดฝาด้านบน ภายในกันด้วยแผ่นพลาสติกบางซึ่งน้ำซึมผ่านไม่ได้ ถ้าเติมน้ำช่องเล็กให้สูงกว่าช่องใหญ่ โดยให้น้ำช่องใหญ่มีปริมาตรมากกว่าช่องเล็ก แผ่นพลาสติกที่กั้นระหว่างสองช่องเกิดการโก่งตัวไปทางใด เพราะเหตุใด  ก. ข. ค. ง.	ความเข้าใจ	1	0.32	0.64	ใช้ได้
3	จากรูป ข้อใดกล่าวผิด  ก. จุด A, B และ C มีความดันเกจเท่ากัน ข. จุด C, D และ G มีความดันเกจเท่ากัน ค. จุด E และจุด F มีความดันเกจเท่ากัน ง. จุด E และจุด F มีความดันบรรยากาศเท่ากัน	ความเข้าใจ	1	0.70	0.60	ใช้ได้

ข้อ	รายการประเมิน	ระดับ พฤติกรรม	IOC	<i>p</i>	<i>r</i>	หมายเหตุ
4	ขวดน้ำ 2 ใบขนาดเท่ากัน เติมน้ำจนเต็มแล้วปิดฝาให้สนิท ใบหนึ่งอยู่บนโลก อีกใบหนึ่งอยู่บนดวงจันทร์ ถามว่าเมื่อวัดความดันน้ำบริเวณก้นขวดทั้งสองจะเป็นอย่างไร  ก. วัดความดันบนดวงจันทร์มีความดันน้อยกว่าบนโลก ข. วัดความดันบนดวงจันทร์มีความดันมากกว่าบนโลก ค. วัดความดันได้ค่าเท่ากันทั้งบนดวงจันทร์และบนโลก ง. ไม่มีข้อถูก	ความเข้าใจ	0.67	0.67	0.34	ใช้ได้
5	กล่องพลาสติก 3 ใบ ใส่ น้ำจนเต็มกล่องวางบนพื้นตั้งรูป (กล่องทั้งสามใบมีขนาด 2 cm x 10 cm x 15 cm)  1. ปริมาตรของน้ำในกล่องทั้งสามใบเท่ากัน 2. น้ำหนักของน้ำในกล่องทั้งสามใบเท่ากัน 3. ความดันที่ก้นกล่องทั้งสามใบเท่ากัน 4. ความหนืดของน้ำในภาชนะทั้งสามใบ<u>ไม่</u>เท่ากัน ข้อความใดกล่าวถูกต้อง ก. ข้อ 1 และ 2 ถูกต้อง ข. ข้อ 1 และ 3 ถูกต้อง ค. ข้อ 3 และ 4 ถูกต้อง ง. ข้อ 1, 2 และ 3 ถูกต้อง	ความเข้าใจ	1	0.70	0.46	ใช้ได้

ข้อ	รายการประเมิน	ระดับ พฤติกรรม	IOC	p	r	หมายเหตุ
6	แก้วน้ำ 3 ใบ มีปริมาตรแตกต่างกัน เมื่อเติมน้ำให้มีระดับความสูงเท่ากัน ข้อใดถูกต้อง  ก. น้ำหนักของน้ำในแก้วและความดันที่ก้นแก้ว ทั้งสามใบเท่ากัน ข. น้ำหนักของน้ำในแก้วและความดันที่ก้นแก้ว ทั้งสามใบ<u>ไม่</u>เท่ากัน ค. น้ำหนักของน้ำในแก้ว<u>ไม่</u>เท่ากัน แต่ความดันที่ก้นแก้วเท่ากัน ง. น้ำหนักของน้ำในแก้วเท่ากัน แต่ความดันที่ก้นแก้ว<u>ไม่</u>เท่ากัน	ความรู้ ความจำ	1	0.68	0.44	ใช้ได้
7	เมื่อเราดำน้ำแล้วเป่าฟองอากาศออกมา สังเกตว่าฟองอากาศจะขยายตัวเมื่อลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ เหตุการณ์นี้เกิดจากปัจจัยใด พร้อมทั้งอธิบายเหตุผล ก. ความตึงผิวของน้ำ ข. ความดันบรรยากาศ ค. ความดันเกจของน้ำ ง. น้ำหนักฟองอากาศ	ความเข้าใจ	1	0.35	0.51	ใช้ได้
8	ขวดน้ำวางบนพื้น เมื่อเจาะรู 3 รูที่ข้างขวดน้ำ เติมน้ำจนเต็มลักษณะน้ำที่พุ่งออกจากรูด้านข้างขวดจะมีลักษณะอย่างไร  ก. ข. ค. ง.	การ วิเคราะห์	1	0.11	0.10	*

ข้อ	รายการประเมิน	ระดับ พฤติกรรม	IOC	<i>p</i>	<i>r</i>	หมายเหตุ
9	ตู่ปลา 2 ใบตั้งรูป เมื่อเจาะรูขนาดเท่ากันที่ระดับความสูงเดียวกัน น้ำจากตู่ใบไหนจะพุ่งออกมาได้ไกลกว่ากัน  ก. น้ำจากตู่ A พุ่งไกลกว่าน้ำจากตู่ B ข. น้ำจากตู่ B พุ่งไกลกว่าน้ำจากตู่ A ค. น้ำจากตู่ทั้งสองใบพุ่งได้ไกลเท่ากัน ง. ข้อมูลไม่เพียงพอ	ความเข้าใจ	1	0.48	0.57	ใช้ได้
10	เด็กชายปอนด์ต้องการรดน้ำแปลงผักที่สวนหลังบ้าน จึงเจาะรูที่แท่งก้นน้ำเพื่อให้ น้ำพุ่งออกมารดแปลงผัก นักเรียนคิดว่าเด็กชายปอนด์ใช้วิธีนี้จะสามารถรดน้ำได้ตลอดแนวแปลงผักหรือไม่ เพราะเหตุใด  ก. ได้ตลอดแนวแปลงผัก ข. ได้ แต่ไม่ตลอดแนว ค. ไม่ได้ ง. ไม่สามารถบอกได้	การนำไปใช้	0.67	0.18	0.17	*
11	จากข้อ 10. นักเรียนคิดว่าผักต้นใดจะได้รับน้ำมากที่สุด เพราะเหตุใด ก. ต้นที่อยู่ไกลแท่งก้นน้ำที่สุด ข. ต้นที่อยู่ใกล้แท่งก้นน้ำที่สุด ค. ต้นที่อยู่กลางแปลงผัก ง. ทุกต้นได้รับน้ำเท่ากัน	การวิเคราะห์	0.67	0.08	0.10	*

ข้อ	รายการประเมิน	ระดับ พฤติกรรม	IOC	p	r	หมายเหตุ
12	น้ำประปาไหลผ่านท่อดังรูป ข้อความใดกล่าวได้ถูกต้อง  ก. อัตราการไหลของน้ำที่จุด B มากกว่าจุด A แต่ อัตราเร็วของน้ำทั้งสองจุดเท่ากัน ข. อัตราการไหลของน้ำทั้งสองจุดเท่ากัน แต่อัตราเร็วของน้ำที่จุด B มากกว่าจุด A ค. อัตราการไหลและอัตราเร็วของน้ำที่จุด B มากกว่าจุด A ง. อัตราการไหลและอัตราเร็วของน้ำทั้งสองจุดเท่ากัน	ความเข้าใจ	1	0.68	0.38	ใช้ได้
13	จากหลักของแบร์นูลลี เมื่อปล่อยให้น้ำไหลผ่านท่อที่มีขนาดไม่เท่ากัน ระดับน้ำในหลอดด้านบนจะเป็นอย่างไร ก.  ข.  ค.  ง. 	ความรู้ ความจำ	1	0.27	0.26	ใช้ได้

ข้อ	รายการประเมิน	ระดับ พฤติกรรม	IOC	p	r	หมายเหตุ
1	ต้องการดูดน้ำจากขวดแก้วใบหนึ่งซึ่งเติมน้ำจนเต็มและฝาปิดสนิท โดยตรงกลางของฝาขวดมีหลอดแก้วเสียบอยู่ เราจะสามารถดูดน้ำขึ้นมาได้หรือไม่ เพราะเหตุใด 	การ นำไปใช้	0.67	0.39	0.69	ใช้ได้
2	รถบรรทุก 2 คันมีน้ำหนักเท่ากัน คันหนึ่งมี 4 ล้อ อีกคันหนึ่งมี 6 ล้อ ถ้าต้องการขนของที่มีน้ำหนักเท่ากัน เราควรเลือกใช้รถบรรทุก 4 ล้อ เพราะรถบรรทุก 6 ล้อ ทำให้ถนนทรุดเร็วกว่า นักเรียนเห็นด้วยกับข้อความนี้หรือไม่ เพราะเหตุใด	การ นำไปใช้	1	0.55	0.72	ใช้ได้
3	นักเรียนคนหนึ่งเชื่อว่าได้ทำการทดลองว่าแก้วลงในสระน้ำ เมื่อกดแก้วให้ลึกลงไปเรื่อยๆ น้ำจะเข้าไปอยู่ในแก้วมากขึ้น คำกล่าวนี้เชื่อถือได้หรือไม่ เพราะเหตุใด 	การ วิเคราะห์	1	0.48	0.47	ใช้ได้
4	นักวิทยาศาสตร์ท่านหนึ่งกล่าวว่า ถ้าเจาะรูข้างขวดที่ความสูงค่าหนึ่งแล้วปล่อยให้ น้ำพุ่งออกมา พร้อมกับปล่อยลูกบอลจากความสูงเท่ากัน น้ำและลูกบอลจะตกถึงพื้นพร้อมกัน นักเรียนเห็นด้วยกับคำกล่าวของนักวิทยาศาสตร์ท่านนี้หรือไม่ เพราะเหตุใด	ความรู้ ความจำ	1	0.48	0.60	ใช้ได้

ข้อ	รายการประเมิน	ระดับ พฤติกรรม	IOC	p	r	หมายเหตุ
5	ผู้ใหญ่มากคนเตือนว่า ถ้าเดินซิดถนนมากเกินไป เวลาที่รถใหญ่วิ่งผ่าน รถจะตูดเราเข้าไป นักเรียนเห็น ด้วยกับคำเตือนนี้หรือไม่ เพราะเหตุใด	การ นำไปใช้		0.35	0.69	ใช้ได้
6	ท่อขนาดไม่สม่ำเสมออยู่ที่ระดับความสูงต่างกันดังรูป ที่ จุด A และจุด B มีปริมาณไคบ้างที่เท่ากันและปริมาณ ไคบ้างที่ต่างกัน ถ้าต่าง ต่างกันอย่างไร (ปริมาณที่ กำหนดให้: อัตราการไหลของน้ำ, อัตราเร็วของน้ำ, พลังงานจลน์, พลังงานศักย์ และพลังงานรวม)	ความเข้าใจ		0.43	0.51	ใช้ได้

ภาคผนวก ค

- แบบทดสอบ เรื่องของไหล

- แผนการจัดการเรียนรู้

- เอกสารประกอบการเรียน

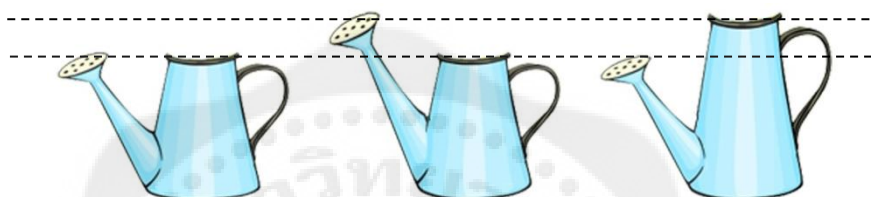
- ใบงาน

แบบทดสอบ เรื่องของไหล

ตอนที่ 1 ข้อสอบเลือกตอบและอธิบายเหตุผล

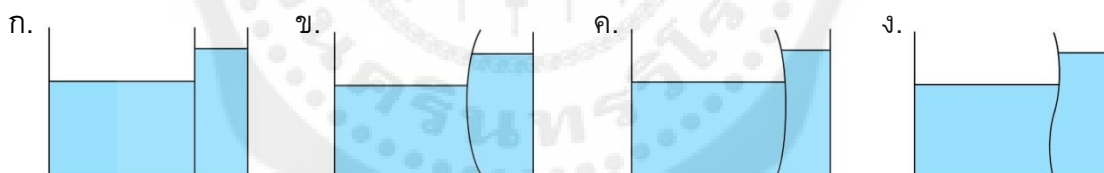
คำชี้แจง ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียวแล้วกากบาท (X) ลงในช่องตัวเลือก และเขียนอธิบายเหตุผลประกอบในช่องเหตุผลให้ครบทุกข้อ

1. บั้วรดน้ำสามใบพื้นที่บริเวณกันมีขนาดเท่ากันทั้งหมด แต่ความสูงของบั้วรดน้ำและฝักบัวแตกต่างกันดังรูป บั้วรดน้ำใบไหนจะใส่น้ำได้มากที่สุด จงอธิบาย

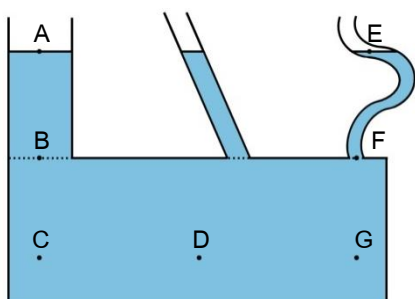


ก. ใบที่ 1 ข. ใบที่ 2 ค. ใบที่ 3 ง. ใส่น้ำได้เท่ากัน

2. ตูปลาน้ำหนึ่งเปิดฝาด้านบน ภายในกั้นด้วยแผ่นพลาสติกบางซึ่งน้ำซึมผ่านไม่ได้ ถ้าเติมน้ำช่องเล็กให้สูงกว่าช่องใหญ่ โดยให้น้ำช่องใหญ่มีปริมาตรมากกว่าช่องเล็ก แผ่นพลาสติกที่กั้นระหว่างสองช่องเกิดการโก่งตัวไปทางใด เพราะเหตุใด



3. จากรูป ข้อใดกล่าวผิด



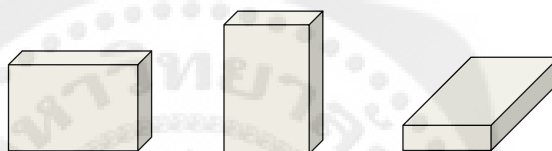
- ก. จุด A, B และ C มีความดันเกจเท่ากัน
- ข. จุด C, D และ G มีความดันเกจเท่ากัน
- ค. จุด E และจุด F มีความดันเกจเท่ากัน
- ง. จุด E และจุด F มีความดันบรรยากาศเท่ากัน

4. ขวดน้ำ 2 ใบขนาดเท่ากัน เติมน้ำจนเต็มแล้วปิดฝาให้สนิท ใบหนึ่งอยู่บนโลก อีกใบหนึ่งอยู่บนดวงจันทร์ ถ้าเมื่อวัดความดันน้ำบริเวณก้นขวดทั้งสองจะเป็นอย่างไร



- ก. วัดความดันบนดวงจันทร์มีความดันน้อยกว่าบนโลก
- ข. วัดความดันบนดวงจันทร์มีความดันมากกว่าบนโลก
- ค. วัดความดันได้ค่าเท่ากันทั้งบนดวงจันทร์และบนโลก
- ง. ไม่มีข้อถูก

5. กล่องพลาสติก 3 ใบ บรรจุของเหลวจนเต็มกล่องวางบนพื้นดังรูป
(กล่องสี่เหลี่ยมทั้งสามใบมีขนาด 2 cm x 10 cm x 15 cm)



- 1. ปริมาตรของน้ำในกล่องทั้งสามใบเท่ากัน
- 2. น้ำหนักของน้ำในกล่องทั้งสามใบเท่ากัน
- 3. ความดันที่ก้นกล่องทั้งสามใบเท่ากัน
- 4. ความหนืดของน้ำในภาชนะทั้งสามใบไม่เท่ากัน

(อ๊ะๆๆ!! ตัวเลือกอยู่ข้างล่างนะจ๊ะ)

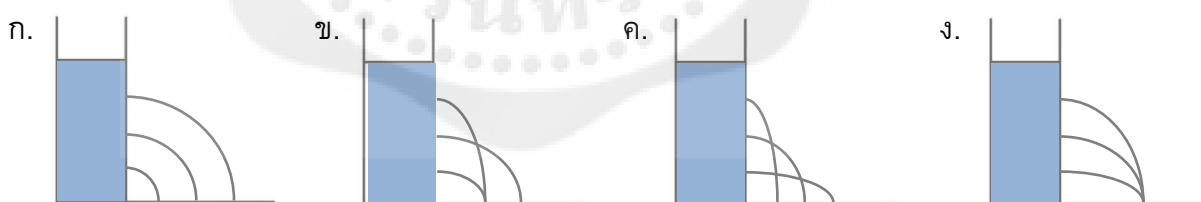
ข้อความใดกล่าวถูกต้อง

- ก. ข้อ 1 และ 2 ถูกต้อง
- ข. ข้อ 1 และ 3 ถูกต้อง
- ค. ข้อ 3 และ 4 ถูกต้อง
- ง. ข้อ 1, 2 และ 3 ถูกต้อง

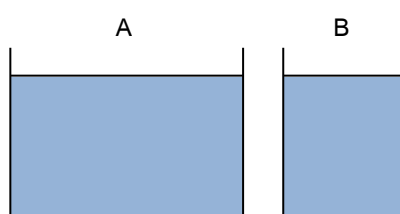
6. แก้วน้ำ 3 ใบ มีปริมาตรแตกต่างกัน เมื่อเติมน้ำให้มีระดับความสูงเท่ากัน ข้อใดถูกต้อง



- ก. น้ำหนักของน้ำในแก้วและความดันที่ก้นแก้วทั้งสามใบเท่ากัน
 ข. น้ำหนักของน้ำในแก้วและความดันที่ก้นแก้วทั้งสามใบไม่เท่ากัน
 ค. น้ำหนักของน้ำในแก้วไม่เท่ากัน แต่ความดันที่ก้นแก้วเท่ากัน
 ง. น้ำหนักของน้ำในแก้วเท่ากัน แต่ความดันที่ก้นแก้วไม่เท่ากัน
7. เมื่อเราดำน้ำแล้วเป่าฟองอากาศออกมา สังเกตว่าฟองอากาศจะขยายตัวเมื่อลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ เหตุการณ์นี้เกิดจากปัจจัยใด พร้อมทั้งอธิบายเหตุผล
- ก. ความตึงผิวของน้ำ
 ข. ความดันบรรยากาศ
 ค. ความดันเกจของน้ำ
 ง. น้ำหนักฟองอากาศ
8. ขวดน้ำวางบนพื้น เมื่อเจาะรู 3 รูที่ข้างขวดน้ำ เติมน้ำจนเต็มลักษณะน้ำที่พุ่งออกจากรูด้านข้างขวดจะมีลักษณะอย่างไร



9. มีตุ้ปลา 2 ใบดังรูป เมื่อเจาะรูขนาดเท่ากันที่ระดับความสูงเดียวกัน น้ำจากตุ้ปใดไหนจะพุ่งออกมาได้ไกลกว่ากัน



- ก. น้ำจากตุ้ป A พุ่งไกลกว่าน้ำจากตุ้ป B
 ข. น้ำจากตุ้ป B พุ่งไกลกว่าน้ำจากตุ้ป A
 ค. น้ำจากตุ้ปทั้งสองใบพุ่งได้ไกลเท่ากัน
 ง. ข้อมูลไม่เพียงพอ

10. เด็กชายปอนด์ต้องการรดน้ำแปลงผักที่สวนหลังบ้าน จึงเจาะรูที่แท็งก์น้ำเพื่อให้น้ำพุ่งออกมารดแปลงผัก นักเรียนคิดว่าเด็กชายปอนด์ใช้วิธีนี้จะสามารถรดน้ำได้ตลอดแนวแปลงผักหรือไม่ เพราะเหตุใด

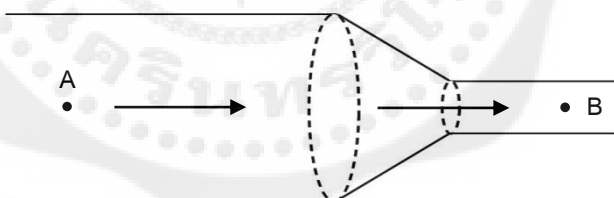


- ก. ได้ตลอดแนวแปลงผัก
- ข. ได้ แต่ไม่ตลอดแนว
- ค. ไม่ได้
- ง. ไม่สามารถบอกได้

11. จากข้อ 10 นักเรียนคิดว่าผักต้นใดจะได้รับน้ำมากที่สุด เพราะเหตุใด

- ก. ต้นที่อยู่ใกล้แท็งก์น้ำที่สุด
- ข. ต้นที่อยู่ไกลแท็งก์น้ำที่สุด
- ค. ต้นที่อยู่กลางแปลงผัก
- ง. ทุกต้นได้รับน้ำเท่ากัน

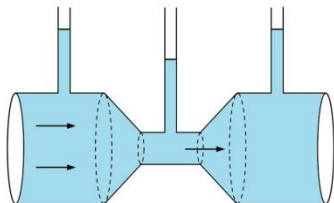
12. น้ำประปาไหลผ่านท่อดังรูป ข้อความใดกล่าวได้ถูกต้อง



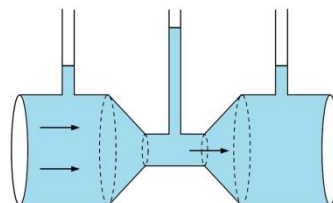
- ก. อัตราการไหลของน้ำที่จุด B มากกว่าจุด A แต่อัตราเร็วของน้ำทั้งสองจุดเท่ากัน
- ข. อัตราการไหลของน้ำทั้งสองจุดเท่ากัน แต่อัตราเร็วของน้ำที่จุด B มากกว่าจุด A
- ค. อัตราการไหลและอัตราเร็วของน้ำที่จุด B มากกว่าจุด A
- ง. อัตราการไหลและอัตราเร็วของน้ำทั้งสองจุดเท่ากัน

13. จากหลักของแบร์นูลลี เมื่อปล่อยให้น้ำไหลผ่านท่อที่มีขนาดไม่เท่ากัน ระดับน้ำในหลอดด้านบนจะเป็นอย่างไร

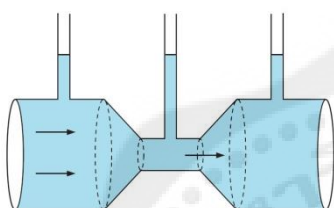
ก.



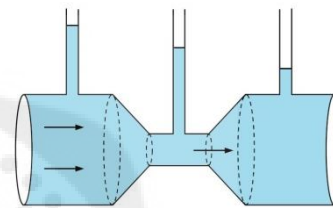
ข.



ค.



ง.



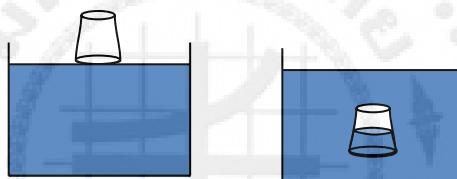
ตอนที่ 2 ข้อสอบอัตนัย

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้ พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลให้ถูกต้อง

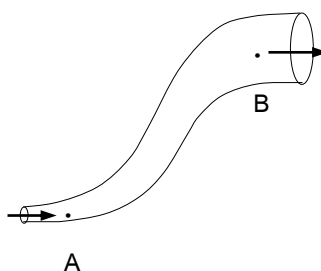
1. ต้องการดูดน้ำจากขวดแก้วใบหนึ่งซึ่งเติมน้ำจนเต็มและฝาปิดสนิท
โดยตรงกลางของฝาขวดมีหลอดแก้วเสียบอยู่ เราจะสามารถดูดน้ำ
ขึ้นมาได้หรือไม่ เพราะเหตุใด



2. รถบรรทุก 2 คันมีน้ำหนักเท่ากัน คันหนึ่งมี 4 ล้อ อีกคันหนึ่งมี 6 ล้อ ถ้าต้องการถนนที่มีน้ำหนัก
เท่ากัน เราควรเลือกใช้รถบรรทุก 4 ล้อ เพราะรถบรรทุก 6 ล้อ ทำให้ถนนทรุดเร็วกว่า นักเรียนเห็น
ด้วยกับข้อความนี้หรือไม่ เพราะเหตุใด
3. นักเรียนคนหนึ่งเล่าว่าได้ทำการทดลองคว่ำแก้วลงในสระน้ำ เมื่อกดแก้วให้ลึกลงไปเรื่อยๆ น้ำจะเข้าไป
อยู่ในแก้วมากขึ้น คำกล่าวนี้เชื่อถือได้หรือไม่ เพราะเหตุใด



4. นักวิทยาศาสตร์ท่านหนึ่งกล่าวว่า ถ้าเจาะรูข้างขวดที่ความสูงค่าหนึ่งแล้วปล่อยให้ น้ำพุ่งออกมา พร้อม
กับปล่อยลูกบอลจากความสูงเท่ากัน น้ำและลูกบอลจะตกถึงพื้นพร้อมกัน นักเรียนเห็นด้วยกับคำกล่าว
ของนักวิทยาศาสตร์ท่านนี้หรือไม่ เพราะเหตุใด
5. ผู้ใหญ่หลายคนเตือนว่า ถ้าเดินชดถนนมากเกินไป เวลาที่รถใหญ่วิ่งผ่าน รถจะดูดเราเข้าไป นักเรียน
เห็นด้วยกับคำเตือนนี้หรือไม่ เพราะเหตุใด
6. ท่อขนาดไม่สม่ำเสมออยู่ที่ระดับความสูงต่างกันดังรูป ที่จุด A และจุด B มีปริมาณไคบางที่เท่ากันและ
ปริมาณไคบางที่ต่างกัน ถ้าต่าง ต่างกันอย่างไร (ปริมาณที่กำหนดให้: อัตราการไหลของน้ำ, อัตราเร็ว
ของน้ำ, พลังงานจลน์, พลังงานศักย์ และพลังงานรวม)



แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่องการทดลองแท่งก้ำน้ำของทอริริเซลลี

รายวิชาฟิสิกส์เพิ่มเติม

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

หน่วยการเรียนรู้เรื่อง ของไหล

ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 6 คาบ

ผู้วิจัย นางสาวขวัญญา พานิช

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

1. สาระการเรียนรู้

สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

2. มาตรฐานการเรียนรู้

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้การแก้ปัญหา ระบุว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบ ที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือ ที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ เข้าใจว่า วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และ สิ่งแวดล้อม มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

3. ตัวชี้วัด

ว 8.1 ม. 4-6 /3, 5, 7, 12

3. ค้นคว้ารวบรวมข้อมูลที่ต้องพิจารณาปัจจัยหรือตัวแปรสำคัญ ปัจจัยที่มีผลต่อปัจจัยอื่น ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้และจำนวนครั้งของการสำรวจตรวจสอบ เพื่อให้ได้ผลที่มีความเชื่อมั่นอย่างเพียงพอ
5. รวบรวมข้อมูลและบันทึกผลการสำรวจตรวจสอบอย่างเป็นระบบ ถูกต้อง ครบคลุมทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพโดยตรวจสอบความเป็นไปได้ ความเหมาะสมหรือความผิดพลาดของข้อมูล
7. วิเคราะห์ข้อมูล แปลความหมายข้อมูล และประเมินความสอดคล้องของข้อสรุป หรือ สาระสำคัญเพื่อ ตรวจสอบกับสมมติฐานที่ตั้งไว้
12. จัดแสดงผลงาน เขียนรายงาน และ/หรืออธิบายเกี่ยวกับแนวคิด กระบวนการ และผลของโครงการ หรือชิ้นงานให้ผู้อื่นเข้าใจ

4. จุดประสงค์การเรียนรู้

4.1 ด้านความรู้ความเข้าใจ (Knowledge)

- อธิบายการไหลของของไหลอุดมคติซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่เป็นไปตามกฎอนุรักษ์พลังงาน
- อธิบายหลักการของแบร์นูลลีและสมการความต่อเนื่อง
- สืบค้น ทดลองและอธิบายการทดลองแก๊งก์น้ำของทอริริเซลลี

4.2 ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะในศตวรรษที่ 21

- การสังเกต (Observation)
- การพยากรณ์ (Prediction)
- การตั้งสมมติฐาน (Formulating Hypothesis)
- การกำหนดและควบคุมตัวแปร (Identifying and controlling variables)
- การทดลอง (Experiment)
- การตีความหมายข้อมูลและลงข้อมูล (Interpreting Data and Making)
- ทักษะด้านการสร้างสรรค์ และนวัตกรรม (Creativity and Innovation)
- ทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ (Collaboration, Teamwork and Leadership)

4.3 ด้านทัศนคติและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (Attitude)

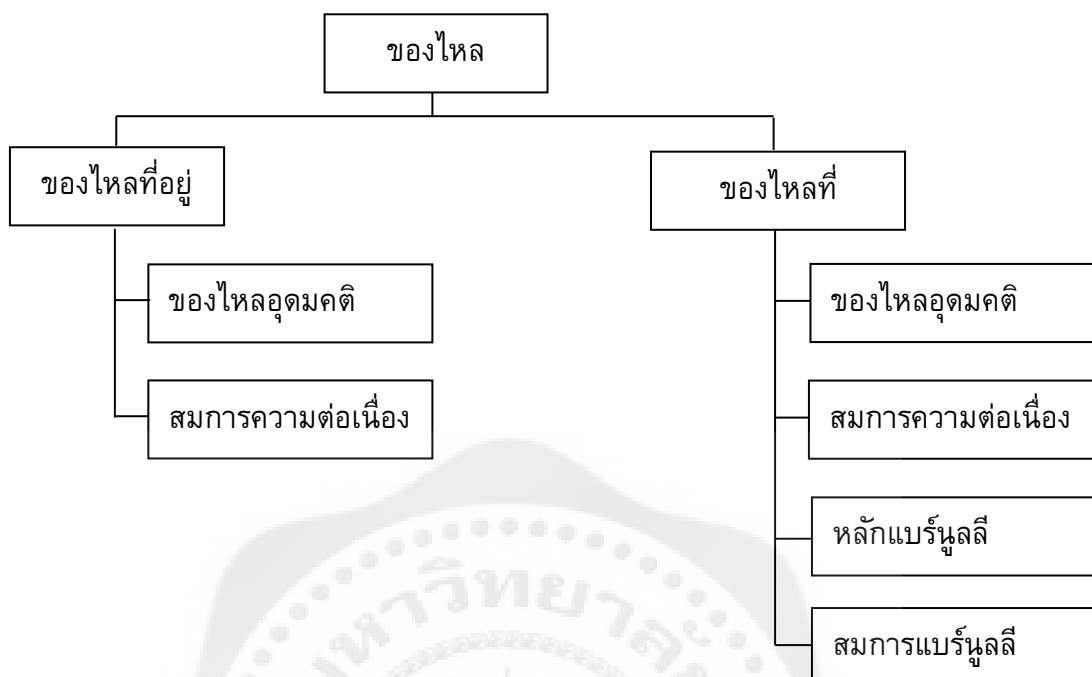
- บันทึกผลการทดลองตามความเป็นจริง
- ศึกษาค้นคว้าความรู้เพิ่มเติมด้วยตนเอง
- เลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและราคาประหยัด
- มีส่วนร่วมในการทำงานและแสดงความคิดเห็นในกลุ่ม

5. สำคัญ

พลศาสตร์ของไหลเป็นการศึกษาของไหลที่มีการเคลื่อนที่ โดยสมมติให้ของไหลเป็นของไหลอุดมคติ ซึ่งอธิบายได้ด้วยสมการความต่อเนื่อง และสมการของแบร์นูลลี

ของไหลอุดมคติเป็นของไหลที่มีการไหลอย่างสม่ำเสมอ ไหลโดยไม่หมุน ไม่มีแรงหนืดและบีบอัดไม่ได้ ของไหลอุดมคติที่ไหลอย่างสม่ำเสมอจะมีอัตราการไหลคงตัว ของไหลที่เคลื่อนที่ในแนวระดับ ตรงตำแหน่งที่อัตราเร็วมากจะมีความดันต่ำ ตรงตำแหน่งที่อัตราเร็วน้อยจะมีความดันสูง เรียกว่า หลักแบร์นูลลีซึ่งหลักการนี้นำไปใช้ประโยชน์ในงานต่างๆ เช่น การทำงานของเครื่องพ่นสี การออกแบบปีกเครื่องบิน และแก๊งก์น้ำของทอริริเซลลี เป็นต้น

6. ผังความคิด



7. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ PSOE (Predict-Share-Observe-Explain)

เป็นกลวิธีที่ให้นักเรียนเรียนรู้จากการทำนาย (Predict) การอภิปราย (Share) การสังเกต (Observe) และการอธิบาย (Explain) ใช้เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนสนใจ มุ่งมั่นในการทดลองโดยให้นักเรียนทำนายผลที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้าก่อนลงมือทำกิจกรรมเพื่อให้นักเรียนสังเกตอย่างจดจ่อละเอียด รอบคอบ นำผลที่ได้จากการสังเกตมาอธิบายและเปรียบเทียบกับสิ่งที่ทำนายไว้ นักเรียนจะรู้สึกสนุกสนานและในช่วงที่ทำกิจกรรมหรือทำการทดลองแล้วท้าทายในการค้นหาความรู้เพื่อตรวจสอบผลการทำนายของตนเอง

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบ PSOE มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นทำนาย (Predict) เป็นขั้นที่ให้นักเรียนทำนายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่างๆ หรือทำนายผลการทดลองที่คาดว่าจะเกิดขึ้น โดยที่นักเรียนต้องให้เหตุผลเกี่ยวกับคำทำนายของนักเรียนด้วย
2. ขั้นอภิปราย (Share) เป็นขั้นที่ให้นักเรียนอภิปราย แลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันในกลุ่ม เพื่อหาข้อสรุปที่จะใช้เป็นคำทำนายของกลุ่ม และช่วยกันออกแบบการทดลอง
3. ขั้นสังเกต (Observe) เป็นขั้นที่นักเรียนต้องลงมือทำการทดลองหรือพิสูจน์หาคำตอบเกี่ยวกับสิ่งที่ทำนายไว้โดยการทดลองหรือพิสูจน์ นักเรียนเป็นผู้ออกแบบการทดลองหรือวางแผนทางการพิสูจน์ตามความต้องการของนักเรียน
4. ขั้นอธิบาย (Explain) เป็นขั้นที่นักเรียนต้องลงมือทำการทดลอง หรือพิสูจน์ สิ่งที่นักเรียนทำนายไว้ว่าเป็นจริงหรือไม่ ซึ่งอาจจะมีการขัดแย้งกับสิ่งที่นักเรียนทำนายไว้ จึงทำให้นักเรียนต้องพยายามหาเหตุผลมาอธิบายถึงสาเหตุของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ถ้าไม่สามารถหาได้ ก็อาจจะมีการ

แลกเปลี่ยนความรู้กับกลุ่มอื่น แล้วค้นคว้าหาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาอธิบายจนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้และมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด

8. ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

คาบที่ 1-2

ก่อนขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ครูให้นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนเรื่องพลศาสตร์ของไหล เพื่อตรวจสอบความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับของไหล หากนักเรียนมีความเข้าใจเรื่องของไหลน้อยกว่า 60% ครูจะทบทวนตั้งแต่เรื่องของไหลที่อยู่หนึ่ง หากนักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนเรื่องของไหล ได้มากกว่า 60% ครูจะข้ามขั้นตอนทบทวนความรู้เรื่องของไหลที่อยู่หนึ่งไป แล้วทบทวนความรู้เรื่องของไหลที่เคลื่อนที่หรือพลศาสตร์ของไหล)

ขั้นทำนาย (Predict) ครูใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่ม/คนทำนายสิ่งที่เกิดขึ้นจากการสาธิตการทดลองหรือปัญหาที่กำหนด

1. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อทบทวนความรู้เรื่อง **ความหนาแน่น** โดยมีสาระสำคัญดังนี้

♥ ความหนาแน่น (Density) คือ อัตราส่วนของมวลต่อปริมาตร เป็นสมบัติเฉพาะสาร

♥ ความหนาแน่น (Density) เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) หาได้จาก

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

เมื่อกำหนดให้ m คือ มวลของสาร (kg)
 V คือ ปริมาตรของสาร (m^3)
 ρ (โร) คือ ความหนาแน่นของสาร (kg/m^3)

♥ ถ้านำสาร 2 ชนิดขึ้นไปมารวมกัน ความหนาแน่นของสารที่ได้จะต่างไปจากเดิม ค่าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของมวลหรือปริมาตร ความหนาแน่นรวมสามารถหาได้จาก

$$\rho_{\text{รวม}} = \frac{m_{\text{รวม}}}{V_{\text{รวม}}} = \frac{m_1 + m_2 + \dots}{V_1 + V_2 + \dots}$$

2. นักเรียนทำกิจกรรมที่ 1 ในเอกสารประกอบการเรียนเรื่องพลศาสตร์ของไหล
3. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเฉลยกิจกรรมที่ 1 เพื่อให้นักเรียนเข้าใจว่า ความหนาแน่นเป็นสมบัติเฉพาะของสาร และสารที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะลอยอยู่บน
4. ครูยกตัวอย่างการคำนวณจากแบบฝึกหัดที่ 1 เรื่องความหนาแน่น
5. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อทบทวนความรู้เรื่อง **ความดัน** โดยมีสาระสำคัญ ดังนี้

♥ ความดัน (pressure; P) หมายถึง แรงดันที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

♥ ความดันหาได้จากสมการ $P = \frac{F}{A}$

เมื่อ F = แรงดันบนพื้นที่ทั้งหมด (N)

A = พื้นที่ที่รองรับแรงดัน (m^2)

P = ความดัน (N/m^2 หรือ Pa)

♥ ความดัน (P) แปรผกผันกับพื้นที่รับแรงดัน (A) คือ เมื่อออกแรงเท่าเดิม ถ้าพื้นที่รับแรงน้อย จะเกิดความดันมาก ในทางกลับกันถ้าเพิ่มพื้นที่รองรับแรงดันให้มากขึ้น ความดันจะเกิดน้อยลง

6. นักเรียนทำกิจกรรมที่ 2 เพื่อให้เห็นตัวอย่างการนำนิยามของความดันมาแก้ปัญหาในสถานการณ์จริง

7. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเฉลยกิจกรรมที่ 2 โดยมีสาระสำคัญ ดังนี้

♥ รถแทรกเตอร์มียางเส้นใหญ่ และรถบรรทุกขนาดใหญ่มีล้อหลัง 8 ล้อ

(รถแทรกเตอร์และรถบรรทุกขนาดใหญ่มีน้ำหนักมาก จึงต้องเพิ่มพื้นที่รับแรงเพื่อกระจายแรง)

♥ นักกายกรรมนอนบนเตียงตะปูได้โดยไม่ได้รับบาดเจ็บ แม้จะมีตะปูอยู่จำนวนมาก

(ยังมีตะปูมาก ยิ่งกระจายแรงจากน้ำหนักของนักกายกรรมได้มาก ทำให้เกิดความดันน้อย)

เพิ่มเติม หลังการเฉลยกิจกรรมที่ 2 ครูอาจสุ่มนักเรียนในห้องให้ลองยกตัวอย่าง

สถานการณ์ที่ใช้นิยามของความดันมาอธิบายได้มา 2-3 คนตามความเหมาะสมของเวลา

8. นักเรียนทำกิจกรรมที่ 3 เพื่อให้เห็นถึงประโยชน์ของความดันบรรยากาศและที่สำคัญเพื่อให้ นักเรียนสามารถวาดแผนภาพ (Free-body diagram) อธิบายความดันบรรยากาศได้

9. นักเรียนทำกิจกรรมที่ 4 จากนั้นให้นักเรียน 2-3 คนมาเฉลยและอธิบายเหตุผล พร้อมทั้ง เปิดโอกาสให้นักเรียนคนอื่นๆ ได้แสดงความคิดเห็น

10. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายทบทวนเรื่องความดันของของเหลวโดยมีสาระสำคัญดังนี้

♥ ทุกๆ จุดในของเหลวจะมีความดันจากของเหลว โดยแรงดันจากของเหลวจะกระทำในทิศ ตั้งฉากกับพื้นผิวเสมอ (จากกิจกรรมที่ 4)

♥ ความดันของของเหลว แบ่งเป็น 2 อย่าง ได้แก่ ความดันเกจและความดันสัมบูรณ์

♥ ความดันเกจ (P_g) คือความดันที่อ่านได้จากเกจวัดความดัน ซึ่งจะเป็นความดันที่ไม่รวม ความดันบรรยากาศ ความดันเกจของของเหลวจะหมายถึง ความดันที่เกิดจากน้ำหนัก ของของเหลวที่กดลงบนจุดที่เราวัด หาได้จากสมการ

$$P_g = \rho gh$$

เมื่อ	P_g	คือ ความดันเกจ
	ρ	คือ ความหนาแน่นของของเหลว
	h	คือ ความลึกของตำแหน่งที่วัด วัดจากผิวของเหลว

♥ ณ ตำแหน่งความสูงเท่ากัน จะมีความดันของของเหลวเท่ากัน ไม่ว่าภาชนะที่ใช้บรรจุของเหลวจะมีรูปร่างแตกต่างกันก็ตาม

♥ ความดันสัมบูรณ์ (P) คือ ความดันเกจรวมกับความดันบรรยากาศ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P = P_o + P_g \quad \text{หรือ} \quad P = P_o + \rho gh$$

11. ครูสุ่มเลือกให้นักเรียนยกตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความดัน

(เช่น บารอมิเตอร์และมานอมิเตอร์ เป็นต้น)

12. ครูให้นักเรียนไปทำแบบฝึกหัดที่ 2 เรื่องความดันในเอกสารประกอบการสอนเรื่องของไหลเป็นการบ้าน

13. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเรื่องของไหล โดยมีสาระสำคัญดังนี้

♥ ของไหลอุดมคติ คือ ของไหลที่มีความสมบูรณ์แบบที่ทำให้วิเคราะห์ง่าย แต่เป็นของไหลที่หายากในความเป็นจริงจึงเป็นของไหลอุดมคติโดยการประมาณเท่านั้น ของไหลในอุดมคติมีคุณสมบัติต่อไปนี้

1) เป็นการไหลโดยไม่หมุน (Irrotational flow) คือ การไหลที่ไม่มีการไหลวนที่จุดใดๆ ในของไหล

2) เป็นการไหลที่ไม่มีแรงต้านเนื่องจากความหนืด (Nonviscous flow) คือ ไม่มีแรงต้านใดๆ ภายในเนื้อของไหลมากระทำต่ออนุภาคของไหล

3) ไม่สามารถอัดได้ (Incompressible flow) คือ ในทุกๆส่วนของของไหลมีความหนาแน่นคงที่

♥ สมการความต่อเนื่อง เป็นสมการที่ใช้ศึกษาการไหลของของไหลภายในท่อ การไหลของของไหลในท่อที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอ สรุปใจความได้ว่า ผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับอัตราเร็วของของไหลอุดมคติ ไม่ว่าจะอยู่ที่ตำแหน่งใดในท่อ การไหลจะมีค่าคงที่ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

หรือ $Q = Av = \text{ค่าคงที่}$

คาบที่ 3-4

14. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อทบทวนเรื่องสมการความต่อเนื่องที่กล่าวถึงในคาบก่อนหน้าและอภิปรายเรื่องพลศาสตร์ของไหล ข้อหัวสมการแบร์นูลลี โดยมีสาระสำคัญดังนี้

♥ สมการของแบร์นูลลี อธิบายว่า ผลรวมของความดัน พลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร และพลังงานศักย์โน้มถ่วงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ณ ตำแหน่งใดๆ ภายในท่อที่ของไหลเคลื่อนที่ผ่านมีค่าคงที่เสมอ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

งานจากความดัน + พลังงานจลน์ + พลังงานศักย์โน้มถ่วง = ค่าคงที่

$$P_1V + \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = P_2V + \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

15. ครูสุ่มให้นักเรียนยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้สมการแบร์นูลลีอย่างน้อย 2 คน พร้อมทั้งเปิดโอกาสให้นักเรียนคนอื่นๆ ได้แสดงความคิดเห็น

16. ครูยกตัวอย่างเพิ่มเติมเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้สมการแบร์นูลลี ดังต่อไปนี้

♥ เวเนจูรีมิเตอร์ (Ventury meter)

♥ อุปกรณ์พ่นสี

♥ ปีกเครื่องบิน

17. ครูตั้งคำถามโดยเล่าสถานการณ์ที่ยกมาจากแบบทดสอบก่อนเรียน ดังนี้

♥ “เด็กชายปอนด์ต้องการรดน้ำแปลงผักที่สวนหลังบ้าน จึงเจาะรูที่แท็งก์น้ำเพื่อให้ น้ำพุ่งออกมารดแปลงผัก นักเรียนคิดว่าเด็กชายปอนด์ใช้วิธีนี้จะสามารถรดน้ำได้ตลอดแนวแปลงผักหรือไม่ และนักเรียนคิดว่าผักต้นใดจะได้รับน้ำมากที่สุด เพราะเหตุใด”

18. ครูสอบถามความคิดเห็นของนักเรียนในห้องโดยวิธีการสุ่มอย่างน้อย 2 คน

19. ครูแจกใบงานที่ 1 ให้นักเรียนทุกคนเขียนความคิดเห็นและอธิบายเหตุผลของตนเอง

20. ครูแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่มๆ ละ 3-5 คน และแจกใบงานที่ 2 ให้นักเรียนแต่ละกลุ่ม

ขั้นสังเกต (Observing) ครูให้นักเรียนทำการทดลอง สังเกต บันทึกผล เพื่อศึกษาว่าผลที่เกิดขึ้นเป็นอย่างไร และเป็นไปตามที่ทำนายไว้หรือไม่

21. นักเรียนในกลุ่มอภิปรายร่วมกันเพื่อหาข้อสรุปของกลุ่มและออกแบบการทดลอง จากนั้นเขียนลงในใบงานที่ 2 โดยมีครูคอยดูแลและเสนอแนะตามความเหมาะสม

22. เมื่อแต่ละกลุ่มได้ข้อสรุปและครูเห็นว่าสามารถทำการทดลองได้จริงแล้ว ครูแจกใบงานที่ 3 ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มกลับไปทำเป็นการบ้าน โดยต้องไปทำการทดลอง บันทึกผลการทดลอง และสืบค้นเพิ่มเติมมา

23. นักเรียนแต่ละกลุ่มกลับไปทำการทดลองและสืบค้นเพิ่มเติมนอกชั้นเรียน

คาบที่ 5-6

ชั้นอธิบาย (Explain) ให้นักเรียนอธิบายผลที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งผลเกิดขึ้นจริงอาจตรงกับที่ทำนายไว้ทั้งหมด หรือบางส่วน ครูให้นักเรียนวิเคราะห์หาสาเหตุ และสรุป (ขั้นตอนนี้จะทำในการเรียนครั้งต่อไป หลังจากที่นักเรียนได้กลับไปทำการทดลองและสืบค้นเพิ่มเติมนอกชั้นเรียนมาแล้ว)

24. นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมานำเสนอ โดยมีหัวข้อในการนำเสนอ ดังนี้

- ♥ สมมติฐาน
- ♥ วิธีการทดลอง
- ♥ ผลการทดลอง
- ♥ สรุปผลการทดลอง

25. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อหาข้อสรุป (ในขั้นตอนนี้ครูอาจเตรียมอุปกรณ์มาสาธิตการทดลองและให้นักเรียนร่วมกันแสดงความคิดเห็น) โดยมีสาระสำคัญเกี่ยวกับผลการทดลองดังนี้

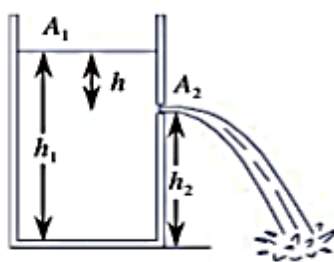
- ♥ จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าน้ำจากแท่งก้นน้ำจะตกลงมารวดต้นไม่ได้ตลอดแนว แต่ปริมาณน้ำในแต่ละระยะจะแตกต่างกัน โดยระยะที่ห่างจากแท่งก้นน้ำมากที่สุดจะได้รับปริมาณน้ำมากที่สุดและปริมาณน้ำจะลดลงเมื่อระยะห่างลดลง

26. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้สมการแบร์นูลลีกับแท่งก้นน้ำของทอริเซลลีโดยมีสาระสำคัญ ดังนี้

- ♥ ถังบรรจุของเหลวความหนาแน่น ρ เจาะรูที่ด้านข้างของถัง โดยรูอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำเป็นระยะ h กำหนดให้รูที่เจาะมีพื้นที่หน้าตัดน้อยมากเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของถัง

จากสถานการณ์ที่กำหนด เราจะพิจารณาของเหลว 2 บริเวณ คือ ผิวน้ำของเหลวด้านบนซึ่งมีพื้นที่ A_1 และรูด้านข้างซึ่งมีพื้นที่ A_2

กำหนดให้ที่ผิวน้ำของเหลวด้านบนมีความดัน P_1 อัตราเร็ว v_1 และอยู่สูง h_1 ส่วนของของเหลวที่รูด้านข้างมีความดัน P_2 อัตราเร็ว v_2 และอยู่สูง h_2 ดังรูป



รูปของเหลวพุ่งออกจากรูด้านข้างถัง

วิธีคิด

จากสมการของแบร์นูลลี $P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$

เนื่องจาก $A_1 \gg A_2$ ระดับของเหลวในถังจะเปลี่ยนน้อยมาก อาจถือว่าผิวหน้าอยู่นิ่ง ($v_1 = 0$) และ v_2 เป็นอัตราเร็วของของเหลวขณะพุ่งออกจากรูให้มีค่าเท่ากับ v และเนื่องจากรูอยู่ต่ำกว่าระดับผิวของเหลวมีค่าเท่ากับ $h_1 - h_2 = h$ และรู้กับระดับผิวของเหลวเปิดสู่บรรยากาศ P_1 และ P_2 จึงเท่ากับความดันบรรยากาศ P_0 ดังนั้น

$$P_0 + 0 + \rho g(h_1 - h_2) = P_0 + \frac{1}{2}\rho v^2$$

$$v^2 = 2g(h_1 - h_2)$$

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

อัตราเร็วของของเหลวที่พุ่งออกจากรูด้านข้างถึงเท่ากับ $\sqrt{2gh}$

- ♥ อัตราเร็วของของเหลวที่พุ่งออกจากรูด้านข้างขวัดเท่ากับอัตราเร็วของวัตถุที่ตกแบบเสรีจากระดับสูง h เท่ากัน และไม่ขึ้นกับชนิดของของเหลว ความสัมพันธ์นี้ทอริริเซลลีเป็นผู้ค้นพบจึงเรียกว่า **กฎของทอริริเซลลี (Torricelli's law)**

27. นักเรียนทำแบบทดสอบเรื่องของไหล (ทำแบบทดสอบหลังการจัดการเรียนรู้ 1 สัปดาห์)

9. สื่อ/แหล่งการเรียนรู้

- เอกสารประกอบการเรียน เรื่องของไหล
- โปรแกรม Microsoft powerpoint
- ใบงานที่ 1
- ใบงานที่ 2
- ใบงานที่ 3
- ชุดจำลองการทดลองแท่งก้น้ำของทอริริเซลลี
- แบบทดสอบเรื่องพลศาสตร์ของไหล

10. การวัดและประเมินผล

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	วิธีการ/เครื่องมือ	การวัดและประเมินผล
ความรู้ความเข้าใจ (K) - อธิบายการไหลของของไหลอุดมคติ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน - อธิบายหลักการของแบร์นูลลีและสมการความต่อเนื่อง - สืบค้น ทดลองและอธิบายการทดลองแก๊งก์น้ำของทอริริเชลลี	- นักเรียนตอบคำถามในห้องเรียน - นักเรียนตอบคำถามในห้องเรียน - แบบทดสอบเรื่องของไหล - ใบงานที่ 3	- นักเรียนสามารถบอกลักษณะการไหลของของไหลอุดมคติได้อย่างน้อย 2 ข้อ จาก 3 ข้อ - นักเรียนสามารถอธิบายกรณีตัวอย่าง อย่างน้อย 2 จาก 3 กรณี - ได้คะแนนจากแบบทดสอบร้อยละ 60 ขึ้นไป - ได้คะแนนจากใบงานร้อยละ 70 ขึ้นไป
ทักษะกระบวนการ (P) - การสังเกต - การพยากรณ์ - การตั้งสมมติฐาน - การกำหนดและควบคุมตัวแปร - การทดลอง - การตีความหมายข้อมูลและลงข้อมูล - ทักษะด้านการสร้างสรรค์ และนวัตกรรม - ทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ	- ใบงานที่ 1,2 และ 3 - แบบประเมินกิจกรรมกลุ่ม	- ได้คะแนนจากใบงานร้อยละ 70 ขึ้นไป - ได้คะแนนจากแบบประเมินกิจกรรมกลุ่มร้อยละ 70 ขึ้นไป

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	วิธีการ/เครื่องมือ	การวัดและประเมินผล
คุณลักษณะ (A) - บันทึกผลการทดลองตามความเป็นจริง - ศึกษาค้นคว้าความรู้เพิ่มเติม - เลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและราคาประหยัด - มีส่วนร่วมในการทำงานและแสดงความคิดเห็นในกลุ่ม	- แบบประเมินกิจกรรมกลุ่ม	- ได้คะแนนจากแบบประเมินกิจกรรมกลุ่มร้อยละ 70 ขึ้นไป



แบบประเมินกิจกรรมกลุ่ม

วิชา..... ชั้นมัธยมศึกษาปีที่

กลุ่มที่..... สมาชิกกลุ่ม.....

ผู้ประเมิน (ผู้สอน/นักเรียน/ประเมินตนเอง)

รายการประเมิน	คุณภาพ			
	4	3	2	1
1. การทำงานเป็นกลุ่ม				
1.1 สมาชิกในกลุ่มมีส่วนร่วมในการทำงาน				
1.2 รับผิดชอบต่อหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย				
1.3 รับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น				
1.4 ส่งงานตรงเวลา				
2. ชิงงานและการนำเสนอ				
2.1 ใช้วัสดุที่ราคาไม่แพง (อยู่อย่างพอเพียง)				
2.2 วิธีการทดลองเหมาะสม				
2.3 เนื้อหาและข้อมูลถูกต้องเหมาะสม				
2.4 มีการค้นคว้าความรู้เพิ่มเติม				
2.5 มีรูปแบบการนำเสนอที่เหมาะสม				
2.6 นำเสนอได้น่าสนใจ				
รวม				

เกณฑ์การประเมิน

- 1 คือ ควรปรับปรุง
- 2 คือ พอใช้
- 3 คือ ดี
- 4 คือ ดีมาก

รูปวิธีการให้คะแนนแบบทดสอบรายข้อ

แบบทดสอบ	ระดับคะแนน			
	3	2	1	0
ตอนที่ 1 แบบปรนัยสองขั้นตอน (เลือกตอบ+ให้เหตุผล)	-เลือกตอบได้ ถูกต้อง -แสดงเหตุผลได้ ถูกต้อง	-เลือกตอบได้ ถูกต้อง -แสดงเหตุผล ได้บ้าง	-เลือกตอบได้ ถูกต้อง -แสดงเหตุผลไม่ ถูกต้องหรือไม่ แสดงเหตุผล	- เลือกตอบไม่ ถูกต้องหรือ ไม่ตอบ - แสดงเหตุผล ไม่ถูกต้องเลย หรือไม่แสดง เหตุผล
ตอนที่ 2 แบบอัตนัย	-เขียนตอบได้ ถูกต้องครบถ้วน	-เขียนตอบได้ ถูกต้อง	-เขียนตอบได้บ้าง เล็กน้อย	- เขียนตอบไม่ ถูกต้องเลย หรือไม่ตอบ

เอกสารประกอบการเรียน

เรื่อง

“
ของไหล
(Fluid)
”

ชื่อ-สกุล เลขที่ ชั้น

โรงเรียน

สมบัติของของไหล

อย่างที่เรารวบรวมกันดีว่าสารต่างๆ แบ่งตามสถานะได้ 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลวและแก๊ส ที่อุณหภูมิหนึ่งของแข็งมีรูปร่างและปริมาตรคงตัว //ของเหลวจะมีปริมาตรคงตัวแต่มีรูปร่างไม่คงตัว โดยจะเปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุ //ส่วนแก๊สมีรูปร่างและปริมาตรไม่คงตัว ปริมาตรของแก๊สขึ้นกับปริมาตรภาชนะที่บรรจุ แก๊สมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรง่ายกว่าของเหลวมาก แต่เนื่องจากของเหลวและแก๊สมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน อีกทั้งสามารถไหลจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งได้ จึงสามารถเรียกรวมกันว่า ของไหล (Fluid) ในการศึกษาเรื่องของไหล เราจะศึกษาสมบัติของของไหล หรือของไหลที่อยู่นิ่ง และของไหลที่เคลื่อนที่



ในเอกสารฉบับนี้จะเน้นเรื่องของไหลที่เคลื่อนที่หรือที่เรียกว่า พลศาสตร์ของไหล แต่ก่อนที่จะกล่าวถึงพลศาสตร์ของไหลนั้น เราจะมาเริ่มจากการทำความรู้จักกับสมบัติของของไหล ได้แก่ ความหนาแน่นและความดัน

1. ความหนาแน่น

ในกลศาสตร์ที่ศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีสถานะเป็นของแข็ง จะใช้วิธีการชั่งน้ำหนักเพื่อหา **มวล (mass)** ของวัตถุ แต่ในการศึกษาของเหลวนั้น รูปร่างของของเหลวจะเปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุ ดังนั้นการวัดจาก **ปริมาตร (volume)** จึงง่ายกว่าการชั่งน้ำหนักเพราะเห็นได้ชัดเจนกว่า

น้ำในขวดปริมาตร 1 ลิตร มีมวล 1 กิโลกรัม เทใส่ถึงน้ำ แม้รูปร่างเปลี่ยนแปลงไป แต่ปริมาตรยังคงเดิมและมวลยังเป็น 1 กิโลกรัม ในขณะเดียวกันน้ำมันปริมาตร 1 ลิตร มีมวลน้อยกว่า 1 กิโลกรัม จะเห็นว่าน้ำมีมวลมากกว่าน้ำมันต่อปริมาตรที่เท่ากัน อัตราส่วนของมวลต่อปริมาตรเป็นสมบัติเฉพาะของของแข็งและของเหลว ซึ่งเรียกว่า **“ความหนาแน่น (Density)”** เป็น ปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) หาได้จาก

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

เมื่อกำหนดให้ m คือ มวลของสาร (kg)
 V คือ ปริมาตรของสาร (m^3)
 ρ (โร) คือ ความหนาแน่นของสาร (kg/m^3)

ตารางแสดงตัวอย่างความหนาแน่นของของเหลวบางชนิด

ชนิดของเหลว	ความหนาแน่น (kg/m ³)
น้ำ	1,000
น้ำมันพืช	920
น้ำยาล้างจาน	1,060
น้ำผึ้ง	1,420
น้ำเชื่อมข้าวโพด	1,330

เพิ่มเติม ถ้านำสาร 2 ชนิดขึ้นไปมารวมกัน ความหนาแน่นของสารที่ได้จะต่างไปจากเดิม ค่าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของมวลหรือปริมาตร ความหนาแน่นรวมสามารถหาได้จาก

$$\rho_{\text{รวม}} = \frac{m_{\text{รวม}}}{V_{\text{รวม}}} = \frac{m_1 + m_2 + \dots}{V_1 + V_2 + \dots}$$

2. ความดัน (pressure; P)

ความดันเป็นปริมาณสเกลาร์ หมายถึง แรงที่กระทำบนพื้นที่ 1 ตารางหน่วยในแนวตั้งฉากกับพื้นที่นั้น หรือแรงดันในหนึ่งหน่วยพื้นที่

$$P = \frac{F}{A}$$

หรือ

$$\text{ความดัน} = \frac{\text{แรงดัน}}{\text{พื้นที่}}$$

กำหนดให้ F = แรงดันบนพื้นที่ทั้งหมด (หน่วยนิวตัน)

A = พื้นที่ที่รองรับแรงดัน (หน่วยตารางเมตร)

P = ความดัน (หน่วยนิวตัน / ตารางเมตร) N/m² หรือ (พาสคัล) Pa

หน่วยอื่นๆ ของความดัน

1 พาสคัล (Pa) = 1 N/m² (นิวตัน/ตารางเมตร)

1 บาร์ (Bar) = 1.0 x 10⁵ N/m² (นิยมใช้ในทางอุตุนิยมวิทยา)

1 บรรยากาศ (atm) = 1.013 x 10⁵ N/m² = 760 มิลลิเมตรของปรอท

จากสูตรจะเห็นว่าความดัน (P) แปรผกผันกับพื้นที่รับแรงดัน (A) นั้นหมายความว่า ถ้าพื้นที่รับแรงน้อย จะเกิดความดันมาก (Aน้อย, Pมาก) ในทางกลับกันถ้าเพิ่มพื้นที่รองรับแรงดันให้มากขึ้น ความดันจะเกิดน้อยลง (Aมาก, Pน้อย) ตัวอย่างเช่น เวลาผู้หญิงใส่รองเท้าส้นสูงเดินบนสนามหญ้า ดินจะยุบตัวมากกว่าเวลาที่ใส่รองเท้าแตะเดิน เป็นต้น

“

กิจกรรม ให้นักเรียนอธิบายเหตุการณ์ต่อไปนี้

1. รถบรรทุกขนาดใหญ่ (รถสิบล้อ) ทำไมต้องมีล้อหลังถึง 8 ล้อ
2. ทำไมนักกายกรรมจึงนอนบนเตียงตะปูได้โดยไม่ได้รับบาดเจ็บ แม้จะมีตะปูอยู่จำนวนมาก

”

2.1 ความดันบรรยากาศ (P_a) คือความดันของอากาศที่กดลงบนตำแหน่งต่างๆ ของโลก ความดันบรรยากาศจะมีค่าแตกต่างกันออกไปตามระดับความสูง เช่น ที่ความสูงระดับน้ำทะเลจะมีความดันบรรยากาศเท่ากับ 1 บรรยากาศ

“

ประโยชน์ของความดันบรรยากาศ

กิจกรรม ให้นักเรียนวาดแผนภาพ (Free-body diagram) เพื่ออธิบายว่าสิ่งต่อไปนี้ใช้ความดันบรรยากาศอย่างไรบ้าง

1. หลอดกาแฟ

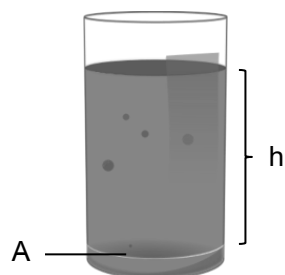


2. กระบอกฉีดยา



”

2.2 ความดันเกจ (P_g) คือความดันที่อ่านได้จากเกจวัดความดัน ซึ่งจะเป็นความดันที่ไม่รวมความดันบรรยากาศ ความดันเกจของของเหลวจะหมายถึง ความดันที่เกิดจากน้ำหนักของของเหลวที่กดลงบนจุดที่เราวัด



จากสูตรความดัน

$$P = \frac{F}{A}$$

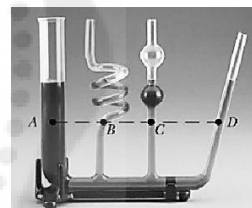
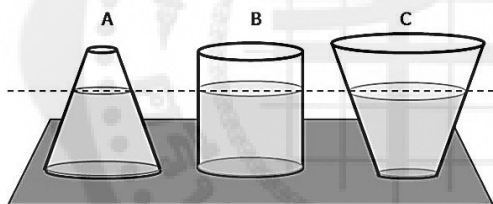
แรงที่กดลงบนพื้นที่นั้นๆ เป็นแรงเนื่องจากน้ำหนักของของเหลว (mg)

$$P_g = \frac{mg}{A} = \frac{(\rho Ah)g}{A}$$

รูปที่ 2.2.1 ของเหลวสูง h ในภาชนะที่มีพื้นที่หน้าตัด A

$$P_g = \rho gh$$

จากสมการที่ได้ จะเห็นว่าความดันของของเหลวขึ้นอยู่กับสภาพแรงดึงดูด คือค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูด (g), ความลึกของตำแหน่งที่วัด วัดจากผิวของเหลว (h) และความหนาแน่นของของเหลว (ρ) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของของเหลว



รูปที่ 2.2.2 ความเหลวในภาชนะรูปทรงต่างๆ

ที่มา : <http://www.vcharkarn.com/exam/set/1996> และ <http://www.slideshare.net/pennipa/fluid-9532278>

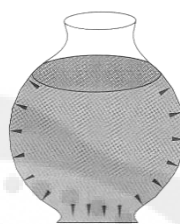
จากรูปด้านบน ณ ตำแหน่งความสูงเท่ากัน จะมีความดันของของเหลวเท่ากัน ไม่ว่าภาชนะที่ใช้บรรจุของเหลวจะมีรูปทรงแตกต่างกันก็ตาม

2.3 ความดันสัมบูรณ์ (P) คือ ความดันเกจรวมกับความดันบรรยากาศ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

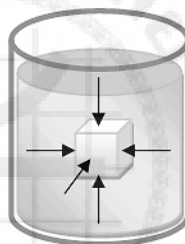
$$P = P_o + P_g \quad \text{หรือ} \quad P = P_o + \rho gh$$

สรุปลักษณะความดันในของเหลว ได้ดังนี้

- ♥ ของเหลวที่บรรจุอยู่ในภาชนะจะออกแรงดันต่อผนังภาชนะที่สัมผัสกับของเหลวในทุกทิศทาง โดยจะตั้งฉากกับผนังภาชนะเสมอ



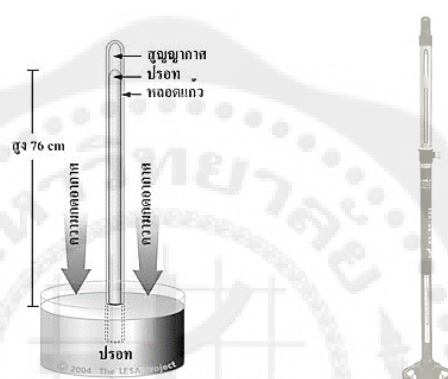
- ♥ ทุกๆ จุดในของเหลว จะมีแรงดันกระทำต่อจุดนั้นทุกทิศทุกทาง



- ♥ สำหรับของเหลวชนิดเดียวกันความดันของของเหลวจะเพิ่มขึ้นตามความลึก และที่ระดับความลึกเท่ากันความดันของเหลวจะเท่ากัน ไม่ขึ้นกับรูปร่างของภาชนะ
- ♥ ในของเหลวต่างชนิดกัน ณ ความลึกเท่ากัน ความดันของของเหลวจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของเหลวนั้น

2.3 เครื่องมือวัดความดัน

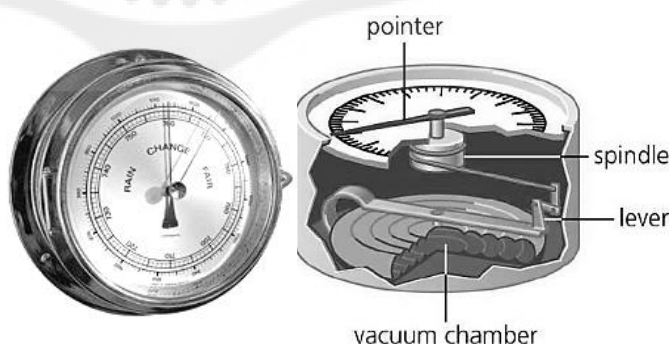
2.3.1 บารอมิเตอร์ (Barometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความดันบรรยากาศ บารอมิเตอร์ยุคแรกคือ **1) บารอมิเตอร์แบบปรอท** คิดค้นโดยทอริริเซลลี (Torricelli) โดยการใส่ปรอทไว้ในหลอดแก้วแล้วคว่ำลงในอ่างปรอทดังรูปที่ 2.3.1 ความดันบรรยากาศภายนอกจะดันปรอทให้ค้างอยู่ในหลอดแก้ว ยิ่งความดันบรรยากาศมาก ปรอทในหลอดแก้วจะยิ่งสูง (ที่ระดับน้ำทะเล หรือความดัน 1 บรรยากาศ ปรอทในหลอดแก้วจะสูง 760 มิลลิเมตร เป็นที่มาของหน่วยวัดความดัน มิลลิเมตรปรอท (mmHg) นั่นเอง)



รูปที่ 2.3.1 บารอมิเตอร์แบบปรอทยุคแรก (ซ้าย) และบารอมิเตอร์แบบปรอทในปัจจุบัน (ขวา)

ที่มา : http://portal.edu.chula.ac.th/lesa_cd/assets/document/lesa212/6/atm_pressure/atm_pressure/atm_pressure.html
http://fieldtrip.ipst.ac.th/intro_sub_content.php?content_id=9&content_folder_id=115

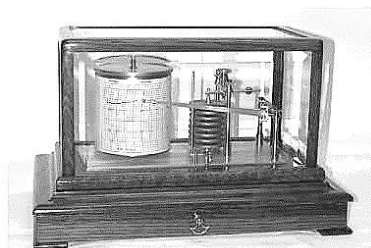
บารอมิเตอร์ที่พกพาได้สะดวกคือ **2) แอนิรอยด์บารอมิเตอร์** ภายในเป็นตลับลูกสูบถูกสุญญากาศซึ่งยุบตัวได้เล็กน้อยตามความกดอากาศที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.3.2 แอนิรอยด์บารอมิเตอร์

ที่มา: http://fieldtrip.ipst.ac.th/intro_sub_content.php?content_id=9&content_folder_id=115

นอกจากนี้ยังมีบารอมิเตอร์แบบอื่นๆ เช่น **บาโรกราฟ** เหมือนกับแบบแอนิรอยด์แต่ใช้ถึง 6 -10 ตลับลูกฟูก เพื่อความถูกต้องและผิดพลาดน้อยที่สุด และมีความทนทานต่อกับปากกาขีดบันทึกค่าลงบนกระดาษกราฟสามารถบันทึกได้หลายวัน



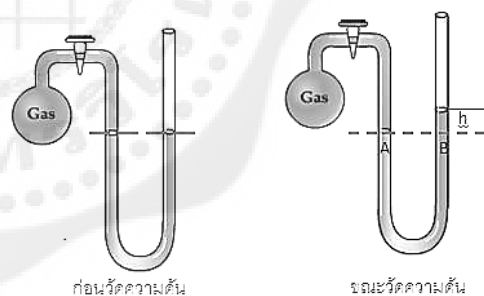
รูปที่ 2.3.3 บารอกราฟ

ที่มา: <https://sites.google.com/site/science5481136/hnwy-thi-3-sarlalay/3-3-smbati-kar-penk-rd-bes-khxng-sarlalay>

2.3.2 มานอมิเตอร์ (Manometer) เป็นเครื่องมือใช้วัดความดันเกจ ประกอบด้วยหลอดรูปตัวยูที่บรรจุของเหลวไว้ภายใน ที่ปลายข้างหนึ่งของหลอดต่อเข้ากับภาชนะบรรจุแก๊สที่ต้องการวัด ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งจะเป็นปลายเปิดสู่อากาศภายนอก รูปที่ 2.3.4 (ซ้าย) เป็นรูปมานอมิเตอร์ก่อนวัดความดัน คือ ยังปิดวาล์วปล่อยแก๊ส จะเห็นว่าระดับของเหลวที่ปลายทั้งสองข้างเท่ากัน เมื่อเปิดวาล์วแล้วปล่อยให้แก๊สไหลเข้าสู่หลอดข้างหนึ่ง ระดับของเหลวจะเริ่มเปลี่ยนแปลงดังรูป 2.3.4 (ขวามือ) จากหลักการที่ว่าความดันของของเหลวชนิดเดียวกันที่ระดับเดียวกันมีค่าเท่ากัน ดังนั้น

ความดันที่จุด A = ความดันที่จุด B

$$P_{\text{gas}} = \rho gh + P_a$$



รูปที่ 2.3.4 มานอมิเตอร์

ที่มา: <https://koosukanjana.wordpress.com>

เมื่อของไหลเคลื่อนที่...

“พลศาสตร์ของไหล”

พลศาสตร์ของไหล (Fluid dynamics)

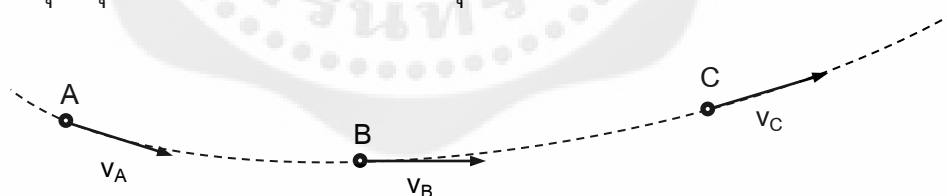
พลศาสตร์ของไหลเป็นสาขาวิชาการย่อยของกลศาสตร์ของไหลที่ศึกษาการเคลื่อนที่ของของไหล (ของเหลวและแก๊ส) โดยทั่วไปเรามักจะศึกษาของไหลโดยพิจารณาว่าของไหลเป็นของไหลในอุดมคติเพื่อให้่ายต่อการศึกษา

3. ของไหลในอุดมคติ (Ideal fluid)

ของไหลในอุดมคติ คือ ของไหลที่มีความสมบูรณ์แบบที่ทำให้วิเคราะห์ง่าย แต่เป็นของไหลที่หายากในความเป็นจริงจึงเป็นของไหลในอุดมคติโดยการประมาณเท่านั้น ของไหลในอุดมคติมีคุณสมบัติต่อไปนี้คือ

1. เป็นการไหลโดยไม่หมุน (Irrotational flow) คือการไหลที่ไม่มีการไหลวนที่จุดใดๆ ในของไหล
2. เป็นการไหลที่ไม่มีแรงต้านเนื่องจากความหนืด (Nonviscous flow) คือ ไม่มีแรงต้านใดๆ ภายในเนื้อของไหลมากระทำต่ออนุภาคของไหล
3. ไม่สามารถอัดได้ (Incompressible flow) คือ ในทุกๆส่วนของของไหลมีความหนาแน่นคงที่

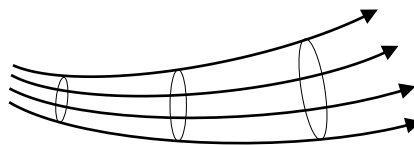
การไหลอย่างสม่ำเสมอ (Steady flow) : ของไหลทุกอนุภาคที่เคลื่อนผ่านจุดๆ หนึ่ง จะมีความเร็วเท่ากันทุกอนุภาค ทั้งขนาดและทิศทาง (แต่ละจุดไม่จำเป็นต้องมีความเร็วเท่ากัน) ในรูปที่ 3.1 ทุกอนุภาค เมื่อเคลื่อนผ่านจุด A จะมีความเร็วเท่ากันหมด เมื่อเคลื่อนผ่านจุด B หรือ C ก็จะมีความเร็วเท่ากันทุกอนุภาคเช่นกัน แต่ไม่จำเป็นว่าที่จุด A B และ C จะต้องมีความเร็วเท่ากัน



รูปที่ 3.1 เส้นกระแสแสดงการไหลของอนุภาคของไหล

เมื่อลากเส้นการไหลของอนุภาคของไหลจะได้เป็น “เส้นกระแส (streamline)” ดังรูปที่ 3.1 ในการไหลอย่างสม่ำเสมอ อนุภาคที่ผ่านจุด A จะเคลื่อนผ่านจุด B และ C ด้วยเสมอ เส้นกระแสจึงเป็นรูปเดิมตลอด และเส้นกระแสแต่ละเส้นจะไม่ตัดกัน

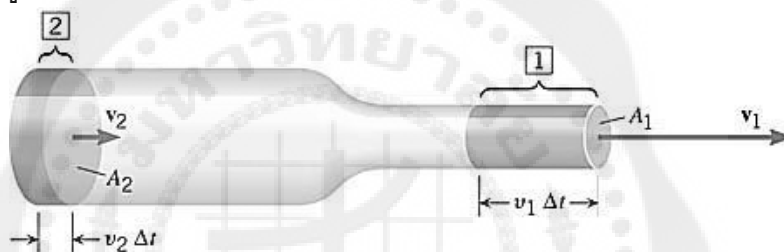
เมื่อพิจารณาการไหลอย่างสม่ำเสมอ โดยให้อนุภาคของไหลเคลื่อนที่พร้อมกันหลายๆ อนุภาคหรือมีเส้นกระแสหลายๆ เส้น เราจะเรียกกลุ่มของเส้นกระแสเหล่านี้ว่า “**หลอดการไหล (tube of flow)**” ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 หลอดการไหลของของไหล

4. สมการความต่อเนื่อง (The equation of continuity)

สมการความต่อเนื่องเป็นสมการที่ใช้ศึกษาการไหลของของไหลภายในท่อ การไหลของของไหลในท่อที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอไหลจากบริเวณที่ 2 ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A_2 ไปยังบริเวณที่ 1 ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A_1 ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการไหลของของไหลในท่อที่มีขนาดไม่เท่ากัน

ที่มา: <http://slideplayer.com/slide/228786/>

เนื่องจากของไหลไม่สามารถไหลผ่านผนังท่อและไม่มีการสร้างหรือทำลายของไหลในท่อนั้นมวลของของไหลที่ผ่านแต่ละส่วนของท่อ การไหลในเวลา Δt เดียวกันจึงมีค่าเท่ากันคือ

$$\Delta m_1 = \Delta m_2$$

$$\rho A_1 v_1 \Delta t = \rho A_2 v_2 \Delta t$$

เนื่องจากของไหลอุดมคติไม่สามารถอัดได้ ดังนั้น ความหนาแน่นจึงคงที่ จะได้

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

หรือ $Q = Av = \text{ค่าคงที่}$ เมื่อ Q คือ อัตราการไหล ($Q = \frac{V}{t}$) (m^3/s)

สมการดังกล่าวเรียกว่า **สมการความต่อเนื่อง (The equation of continuity)** สรุปใจความได้ว่า ผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับอัตราเร็วของของไหลอุดมคติ ไม่ว่าจะอยู่ที่ตำแหน่งใดในท่อ การไหลจะมีค่าคงที่”

5. สมการของแบร์นูลลี (Bernoulli's Equation)

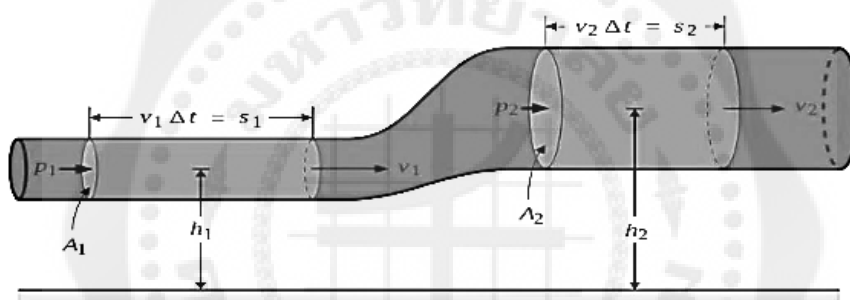
เมื่อพิจารณาการไหลแบบคงที่ของของไหลที่ไม่มีความเสียดทานและอัดตัวไม่ได้ (คือมีปริมาตรคงที่ หรือของไหลมีปริมาตรเท่ากันทั้งสองจุด) จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

งานจากความดัน + พลังงานจลน์ + พลังงานศักย์โน้มถ่วง = ค่าคงที่

$$P_1 V + \frac{1}{2} m v_1^2 + m g h_1 = P_2 V + \frac{1}{2} m v_2^2 + m g h_2$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

สมการนี้เรียกว่า สมการแบร์นูลลี ซึ่งกล่าวว่า ผลรวมของความดัน พลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร และพลังงานศักย์โน้มถ่วงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ณ ตำแหน่งใดๆ ภายในท่อที่ของไหลเคลื่อนที่ผ่านมีค่าคงที่เสมอ



รูปที่ 5.1 ท่อน้ำที่มีขนาดและความสูงไม่สม่ำเสมอ

ที่มา: <http://scienceamz.blogspot.com/2015/09/bernoullis-principle.html>



Daniel Bernoulli (พ.ศ. 2243 - 2325) นักฟิสิกส์

ชาวสวิส เกิดในตระกูลนักคณิตศาสตร์ แต่เขาเป็นสมาชิกเพียงคนเดียวของครอบครัวที่สนใจฟิสิกส์ ผลงานสำคัญที่สุดของเขาคือ หนังสือชื่อ Hydrodynamica ที่ตีพิมพ์ในค.ศ. 1738 ซึ่งกล่าวถึง สมดุลความดันและอัตราเร็วของของไหล เขาได้แสดงให้เห็นว่า ถ้าระดับการไหลไม่เปลี่ยนเมื่ออัตราเร็วของของไหลเพิ่มขึ้น ความดันของของไหลจะลดลง หนังสือของเขายังได้อธิบายพฤติกรรมของแก๊สเมื่ออุณหภูมิและความดันของแก๊สเปลี่ยนเป็นครั้งแรก ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

แบบฝึกหัด พลศาสตร์ของไหล

1. ขณะที่น้ำไหลผ่านท่อที่มีรัศมี 5 cm มีอัตราการไหล 1.27 m/s จงหา

ก) อัตราการไหลของน้ำ (คำตอบ $10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$)

ข) อัตราเร็วของน้ำ เมื่อน้ำไหลผ่านท่อที่มีรัศมี 2.5 cm (คำตอบ 5.1 m/s)

2. นักเรียนคนหนึ่งอยากรู้ว่าน้ำไหลด้วยอัตราเร็วเท่าใดเมื่อเปิดก๊อกน้ำจนสุด จึงทำการทดลองโดยการเปิดก๊อกน้ำจนสุด แล้วนำขวดน้ำขนาด 1.5 ลิตรมารองน้ำไว้ จากนั้นจับเวลา ปรากฏว่าน้ำเต็มขวดภายในเวลา 15 s วัดรัศมีของก๊อกน้ำได้ 0.8 cm น้ำไหลด้วยอัตราเร็วเท่าใด (1 ลิตร = 10^{-3} m^3) (คำตอบ 0.5 m/s)

3. บั๊มน้ำรุ่นหนึ่งให้อัตราการไหล $900 \text{ m}^3/\text{hr}$ ถ้าต่อท่อน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm อัตราเร็วของน้ำในท่อจะเท่ากับกี่ m/s และจะส่งน้ำขึ้นไปได้สูงกี่ m (คำตอบ 31.85 m/s และ 50.72 m)

4. นำท่อ A และ B ซึ่งมีขนาดต่างกันมาต่อกันบนพื้น ปล่อยน้ำไหลผ่าน ปรากฏว่าอัตราเร็วของน้ำเมื่อผ่านท่อ A เท่ากับ 20 m/s เมื่อไหลผ่านท่อ B น้ำมีอัตราเร็ว 8 m/s ถ้าความดันในท่อ B เท่ากับ $3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ ความดันในท่อ A จะมีค่าเท่าใด (คำตอบ $1.32 \times 10^5 \text{ N/m}^2$)

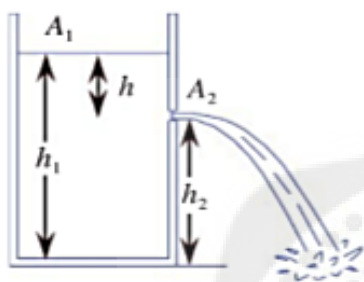
5. ท่อประปาท่อเข้าตัวบ้านมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm ความดันสัมบูรณ์ของน้ำ $4 \times 10^5 \text{ Pa}$ ท่อที่ต่อขึ้นบนชั้นสองของบ้านซึ่งอยู่สูงจากชั้นล่าง 5 m มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ถ้าอัตราเร็วของน้ำที่ไหลเข้าบ้าน 4 m/s จงหาความดันสัมบูรณ์ของน้ำที่ชั้นสองของบ้าน (คำตอบ $2.3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$)

6. การประยุกต์สมการแบร์นูลลี

6.1 การหาอัตราเร็วของของเหลวที่พุ่งออกจากรูเล็ก ๆ

ถังบรรจุของเหลวความหนาแน่น ρ จะอยู่ที่ด้านข้างของถัง โดยรูอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำเป็นระยะ h กำหนดให้รูที่เจาะมีพื้นที่หน้าตัดน้อยมากเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของถัง

จากสถานการณ์ที่กำหนด เราจะพิจารณาของเหลว 2 บริเวณ คือ ผิวน้ำของเหลวด้านบนซึ่งมีพื้นที่ A_1 และรูด้านข้างซึ่งมีพื้นที่ A_2



กำหนดให้ที่ผิวของเหลวด้านบนมีความดัน P_1 อัตราเร็ว v_1 และอยู่สูง h_1 ส่วนของของเหลวที่รูด้านข้างมีความดัน P_2 อัตราเร็ว v_2 และอยู่สูง h_2 ดังรูป 6.1.1

รูปที่ 6.1.1 ของเหลวพุ่งออกจากรูด้านข้างถัง

วิธีคิด

จากสมการของแบร์นูลลี

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

เนื่องจาก $A_1 \gg A_2$ ระดับของเหลวในถังจะเปลี่ยนน้อยมาก อาจถือว่าผิวน้ำอยู่นิ่ง ($v_1 = 0$) และ v_2 เป็นอัตราเร็วของของเหลวขณะพุ่งออกจากรูให้มีค่าเท่ากับ v และเนื่องจากรูอยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำของเหลวมีค่าเท่ากับ $h_1 - h_2 = h$ และรูกับระดับผิวน้ำของเหลวเปิดสู่บรรยากาศ P_1 และ P_2 จึงเท่ากับความดันบรรยากาศ P_0 ดังนั้น

$$P_0 + 0 + \rho g(h_1 - h_2) = P_0 + \frac{1}{2}\rho v^2$$

$$v^2 = 2g(h_1 - h_2)$$

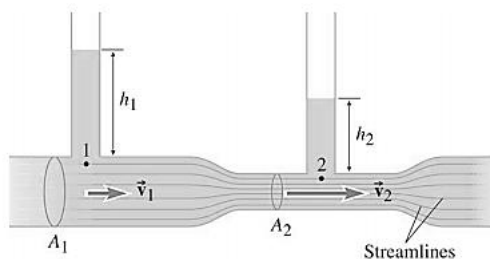
$$v = \sqrt{2gh}$$

อัตราเร็วของของเหลวที่พุ่งออกจากรูด้านข้างถึงเท่ากับ $\sqrt{2gh}$

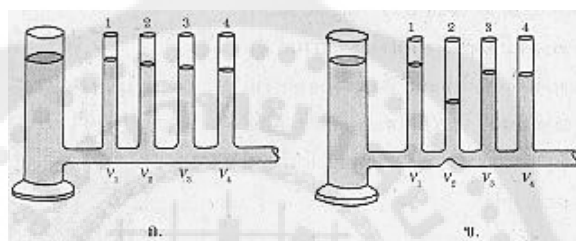
อัตราเร็วของของเหลวที่พุ่งออกจากรูด้านข้างขวดเท่ากับอัตราเร็วของวัตถุที่ตกแบบเสรีจากระดับสูง h เท่ากัน และไม่ขึ้นกับชนิดของของเหลว ความสัมพันธ์นี้ ทอริเชลลีเป็นผู้ค้นพบจึงเรียกว่า กฎของทอริเชลลี (Torricelli's law)

6.2 เวนจูรีมิเตอร์ (Ventury meter)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราเร็วของของไหลในท่อ มีลักษณะเป็นท่อที่มีส่วนที่เป็นคอขวดวางในแนวระดับ



รูปที่ 6.2.1 แสดงเครื่องมือเวนจูรีมิเตอร์



รูปที่ 6.2.2 ระดับของเหลวในหลอดแก้ว เมื่อของเหลวเคลื่อนที่ผ่านท่อด้านล่าง

ที่มา: http://greymangangster.blogspot.com/2009/08/blog-post_30.html

จากสมการแบร์นูลลี

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

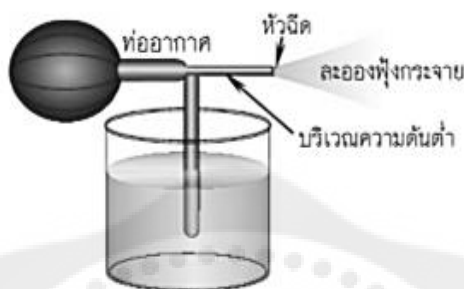
เนื่องจากท่ออยู่ในแนวระดับ $h_1 = h_2 = h$;

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad (6.2.1)$$

จากสมการความต่อเนื่อง $A_1v_1 = A_2v_2$ จะเห็นว่าเมื่อท่อมีขนาดใหญ่ อัตราเร็วของของไหลในท่อจะน้อย และจากสมการที่ (6.2.1) เมื่ออัตราเร็วของของไหลน้อย ความดันของของไหลจะมาก (A ใหญ่, v น้อย, P มาก) ในทางตรงข้ามหากพิจารณาบริเวณที่ท่อมีขนาดเล็ก อัตราเร็วของของไหลที่ผ่านท่อส่วนนั้นจะมาก ส่งผลให้ความดันของไหลที่จุดนั้นน้อย (A เล็ก, v มาก, P น้อย)

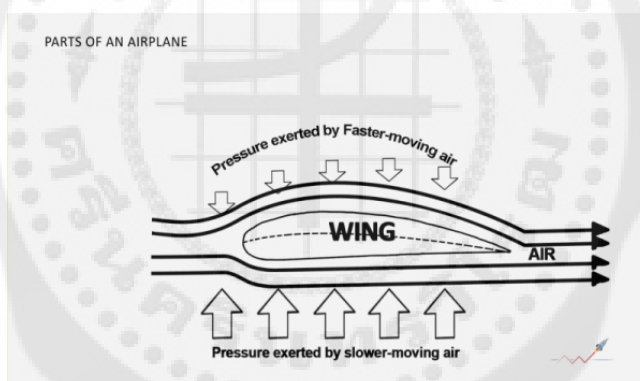
6.3 อุปกรณ์พ่นสี

อุปกรณ์พ่นสีที่ใช้หลักการเดียวกับเวนจูรีมิเตอร์ คือเมื่อเร่งให้อากาศไหลผ่านท่อ อัตราเร็วของอากาศที่ผ่านหัวฉีดจะสูงทำให้สารละลาย (สี) ในกระป๋องซึ่งมีความดันสูงกว่าเคลื่อนที่ขึ้นมาผสมกับอากาศแล้วถูกฉีดออกไป ทำให้ทั้งอากาศและเม็ดสีถูกฉีดและกระจายออกจากหัวฉีดด้วยอัตราเร็วสูง การทำงานของคาร์บูเรเตอร์ของเครื่องยนต์แก๊สเบนซินหรือขวดสเปรย์น้ำหอมก็อาศัยหลักการ เดียวกันนี้



รูปที่ 6.3.1 อุปกรณ์พ่นสี

6.4 ปีกเครื่องบิน



รูปที่ 6.4.1 ปีกเครื่องบินและเส้นแสดงกระแสอากาศที่ไหลผ่านปีกเครื่องบิน

ที่มา: <http://www.meekhao.com/education/how-plane-fly>

วิศวกรออกแบบปีกเครื่องบินโดยอาศัยสมการของแบร์นูลลี โดยออกแบบให้ด้านบนของปีกมีความโค้งมากกว่าด้านล่างเป็นการเพิ่มระยะทางการเคลื่อนที่ของอากาศ เพื่อให้อากาศที่ไหลผ่านบริเวณผิวปีกด้านบนต้องเคลื่อนที่ได้ระยะทางไกลกว่าอากาศที่บริเวณผิวปีกด้านล่าง ดังนั้น อัตราเร็วของอากาศที่บริเวณผิวปีกด้านบนจะสูงกว่าอัตราเร็วของอากาศที่ผิวปีกด้านล่าง ทำให้ความดันของอากาศที่ผิวปีกด้านล่างมากกว่าที่ผิวปีกด้านบน เป็นผลให้เกิดแรงยกขึ้นกระทำที่ปีกเครื่องบิน เครื่องบินจึงบินขึ้นได้ทั้งๆ ที่มีมวลมาก

เราสามารถนำหลักการนี้ไปอธิบายเวลาที่เกิดพายุ ลมพายุสามารถพัดพาเอาหลังคาบ้านไปตกที่ไกลๆ จากตัวบ้านได้หรือเวลาที่เราขับรถเร็วๆ การบังคับรถจะยากขึ้นเพราะรถเกาะถนนน้อยลงนั่นเอง

ตัวอย่างการคำนวณ ขณะที่เครื่องบินกำลังเหินผ่านฟ้าประเทศไทย ความเร็วอากาศที่พัดผ่านส่วนบนของปีกเท่ากับ 150 m/s ส่วนล่างของปีกเท่ากับ 100 m/s จะทำให้เกิดแรงยกปีกกี่ N/m^2 ถ้าความหนาแน่นของอากาศขณะนั้นเท่ากับ 0.3 kg/m^3

วิธีการคำนวณ

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh + P_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh + P_2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 - \frac{1}{2}\rho v_1^2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \times 0.3(150^2 - 100^2)$$

$$P_1 - P_2 = 1,875 \text{ N/m}^2$$

ข้อสังเกต แรงยกหน่วยเป็น N/m^2 แสดงว่า ปีกเครื่องบิน 1 ตารางเมตรจะได้รับแรงยก 1,875 N ดังนั้นยิ่งปีกใหญ่ ก็ยิ่งได้รับแรงยกมาก (แต่อย่าลืมว่า ยิ่งปีกใหญ่ก็ยิ่งหนักขึ้นนะจ๊ะ)

ตัวอย่างการคำนวณ อัตราเร็วของลมพายุที่พัดเหนือหลังคาบ้านหลังหนึ่งเป็น 30 m/s ผลต่างระหว่างความดันอากาศเหนือหลังคาและใต้หลังคาบ้านนี้เป็นเท่าใด และถ้าหลังคาบ้านมีพื้นที่ 175 m^2 แรงยกที่กระทำกับหลังคาเป็นเท่าใด กำหนดให้ความหนาแน่นของอากาศในขณะนั้นเท่ากับ 0.3 kg/m^3

วิธีคำนวณ

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

$$h_1 \approx h_2 ;$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2)$$

$$\Delta P = \frac{1}{2}(0.3)(30^2 - 0^2) = 135 \text{ N/m}^2$$

$$F = A(\Delta P) = 135 \times 175 = 2.3 \times 10^4 \text{ N}$$

ใบงานที่สอง...ระดมสมองแก้ปัญหา

คำชี้แจง ให้นักเรียนในกลุ่มปรึกษากันเพื่อหาข้อสรุปร่วมกัน

1. “เด็กชายปอนด์ต้องการรดน้ำแปลงผักที่สวนหลังบ้าน จึงเจาะรูที่ถังก้นน้ำเพื่อให้น้ำพุ่งออกมารดแปลงผัก นักเรียนคิดว่าเด็กชายปอนด์ใช้วิธีนี้จะสามารถรดน้ำได้ตลอดแนวแปลงผักหรือไม่ และนักเรียนคิดว่าผักต้นใดจะได้รับน้ำมากที่สุด เพราะเหตุใด”



2. มาพิสูจน์ความจริงกัน (ช่วยกันออกแบบวิธีการพิสูจน์ความจริง/วิธีการทดลอง)

ขั้นตอนการทดลอง



อุปกรณ์ที่ใช้



...To Be Continue...

ใบงานที่ 3 การทดลอง เรื่อง

ชื่อกลุ่ม

สมาชิกกลุ่ม

.....

.....

.....

.....

.....

ตัวแปรในการทดลอง

- ตัวแปรต้น

.....

- ตัวแปรตาม

.....

- ตัวแปรควบคุม

.....

สมมติฐาน

.....

.....

.....

.....

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

.....

.....

.....

.....

ขั้นตอนการทดลอง

[illegible]

ผลการทดลอง (ให้นักเรียนออกแบบตารางการทดลองด้วยตัวเอง)



อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะในการทดลอง/ประโยชน์และการนำไปใช้

.....

.....

.....

.....

.....

.....

“ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ”





ภาคผนวก ง

ภาพกิจกรรมการจัดการเรียนรู้





ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล

นางสาวชญญา พานิช

วันเดือนปีเกิด

25 ธันวาคม 2533

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2551

มัธยมศึกษาปีที่ 6

จาก โรงเรียนศรีสวัสดิ์วิทยาคาร จังหวัดน่าน

พ.ศ. 2555

ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) ฟิสิกส์

จาก มหาวิทยาลัยนเรศวร

พ.ศ. 2560

ปริญญาโท การศึกษามหาบัณฑิต (กศ.ม.) ฟิสิกส์

จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ