ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก ก

- รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ
- หนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญประเมินชุดทดลอง
- แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ
- แบบสอบถามความคิดเห็นสำหรับผู้เรียน
- การวิเคราะห์ความคิดเห็นจากการประเมินชุดทดลองโดยผู้เชี่ยวชาญ
- การวิเคราะห์ความคิดเห็นจากการประเมินชุดทดลองโดยผู้เรียน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินชุดทดลองหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว

1. ดร.นครินทร์ พัฒนบุญมี	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. ดร.ประพนธ์ เลิศลอยปัญญาชัย	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง
3. อาจารย์ชาญพัฒน์ ชูดวงแก้ว	ครูคศ. 3 ชำนาญการพิเศษ ผู้สอนวิชาฟิสิกส์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนพนมสารคาม “พนมอดุลวิทยา”
4. อาจารย์ดิษฐวัฒน์ เดชาธนไพบูลย์	ครูคศ. 3 ชำนาญการพิเศษ ผู้สอนวิชาฟิสิกส์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนพนมสารคาม “พนมอดุลวิทยา”
5. อาจารย์พรทิพย์ เพียราษฎร์	ครูคศ. 3 ชำนาญการพิเศษ ผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ที่ ศธ ๐๔๒๓๖.๒๓ / ๙๗

โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา
ตำบลเกาะขนุน อำเภอพนมสารคาม
จังหวัดฉะเชิงเทรา ๒๔๑๒๐

๑๕ พฤษภาคม ๒๕๕๖

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบผลงานทางวิชาการ

เรียน ดร. นครินทร์ พัฒนบุญมี

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. แบบแสดงความคิดเห็นที่มีต่อชุดทดลองและคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู จำนวน ๑ ชุด
๒. คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู จำนวน ๑ ชุด

ด้วย นางสาวมุกดา เข็มมุข ตำแหน่ง ครู โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต ๖ ได้จัดทำผลงานทางวิชาการเป็นเอกสารประกอบการสอนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา พิจารณาเห็นแล้วว่า ท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถ ดังนั้นจึงขอความอนุเคราะห์ท่าน ในการตรวจสอบผลงานทางวิชาการของนางสาวมุกดา เข็มมุข ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและให้ความอนุเคราะห์ เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาทางวิชาการของโรงเรียนต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(นายประเสริฐ กุลพิพัฒน์รัตน์)
ผู้อำนวยการโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา

ฝ่ายบริหารงบประมาณและบุคคล
งานบุคคล
โทร. ๐-๓๘๕๐-๒๐๖๐
โทรสาร ๐-๓๘๘๓-๖๖๓๐
E-mail kch209@hotmail.com

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ที่ ศธ ๐๔๒๓๖.๒๓ / ๑๙๕

โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา
ตำบลเกาะขนุน อำเภอพนมสารคาม
จังหวัดฉะเชิงเทรา ๒๔๑๒๐

๑๕ พฤษภาคม ๒๕๕๖

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบผลงานทางวิชาการ

เรียน ดร. ประพนธ์ เลิศลอยปัญญาชัย

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. แบบแสดงความคิดเห็นที่มีต่อชุดทดลองและคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู จำนวน ๑ ชุด
๒. คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู จำนวน ๑ ชุด

ด้วย นางสาวมุกดา เข็มมุข ตำแหน่ง ครู โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต ๖ ได้จัดทำผลงานทางวิชาการเป็นเอกสารประกอบการสอนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา พิจารณาเห็นแล้วว่า ท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถ ดังนั้นจึงขอความอนุเคราะห์ท่าน ในการตรวจสอบผลงานทางวิชาการของนางสาวมุกดา เข็มมุข ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและให้ความอนุเคราะห์ เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาทางวิชาการของโรงเรียนต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(นายประเสริฐ กุลพิพัฒน์รัตน์)
ผู้อำนวยการโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา

ฝ่ายบริหารงบประมาณและบุคคล
งานบุคคล
โทร. ๐-๓๘๕๐-๒๐๖๐
โทรสาร ๐-๓๘๘๓-๖๖๓๐
E-mail kch209@hotmail.com

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ที่ ศธ ๐๔๒๓๖.๒๓ / [illegible]

โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา
ตำบลเกาะขนุน อำเภอพนมสารคาม
จังหวัดฉะเชิงเทรา ๒๔๑๒๐

๑๕ พฤษภาคม ๒๕๕๖

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบผลงานทางวิชาการ

เรียน อาจารย์ชาญพัฒน์ ชูดวงแก้ว

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. แบบแสดงความคิดเห็นที่มีต่อชุดทดลองและคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู จำนวน ๑ ชุด
๒. คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู จำนวน ๑ ชุด

ด้วย นางสาวมุกดา เข็มมุข ตำแหน่ง ครู โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต ๖ ได้จัดทำผลงานทางวิชาการเป็นเอกสารประกอบการสอนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา พิจารณาเห็นแล้วว่า ท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถ ดังนั้นจึงขอความอนุเคราะห์ท่าน ในการตรวจสอบผลงานทางวิชาการของนางสาวมุกดา เข็มมุข ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและให้ความอนุเคราะห์ เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาทางวิชาการของโรงเรียนต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(นายประเสริฐ กุลพิพัฒน์รัตน์)
ผู้อำนวยการโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา

ฝ่ายบริหารงบประมาณและบุคคล
งานบุคคล
โทร. ๐-๓๘๕๐-๒๐๖๐
โทรสาร ๐-๓๘๘๓-๖๖๓๐
E-mail kch209@hotmail.com

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ที่ ศธ ๐๔๒๓๖.๒๓ / ๖๙๘

โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา
ตำบลเกาะขนุน อำเภอพนมสารคาม
จังหวัดฉะเชิงเทรา ๒๔๑๒๐

๑๕ พฤษภาคม ๒๕๕๖

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบผลงานทางวิชาการ

เรียน อาจารย์ดิษฐวัฒน์ เดชาธนไพบูลย์

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. แบบแสดงความคิดเห็นที่มีต่อชุดทดลองและคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู จำนวน ๑ ชุด
๒. คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู จำนวน ๑ ชุด

ด้วย นางสาวมุกดา เข็มมุข ตำแหน่ง ครู โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต ๖ ได้จัดทำผลงานทางวิชาการเป็นเอกสารประกอบการสอนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา พิจารณาเห็นแล้วว่า ท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถ ดังนั้นจึงขอความอนุเคราะห์ท่าน ในการตรวจสอบผลงานทางวิชาการของนางสาวมุกดา เข็มมุข ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและให้ความอนุเคราะห์ เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาทางวิชาการของโรงเรียนต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(นายประเสริฐ กุลพิพัฒน์รัตน์)
ผู้อำนวยการโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา

ฝ่ายบริหารงบประมาณและบุคคล
งานบุคคล
โทร. ๐-๓๘๕๐-๒๐๖๐
โทรสาร ๐-๓๘๘๓-๖๖๓๐
E-mail kch209@hotmail.com

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ที่ ศธ ๐๔๒๓๐.๒๓ / โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา
ตำบลเกาะขนุน อำเภอพนมสารคาม
จังหวัดฉะเชิงเทรา ๒๔๑๒๐

๑๕ พฤษภาคม ๒๕๕๖

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบผลงานทางวิชาการ

เรียน อาจารย์พรทิพย์ เพียราษฎร์

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. แบบแสดงความคิดเห็นที่มีต่อชุดทดลองและคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู จำนวน ๑ ชุด
๒ คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู จำนวน ๑ ชุด

ด้วย นางสาวมุกดา เข็มมุข ตำแหน่ง ครู โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต ๖ ได้จัดทำผลงานทางวิชาการเป็นเอกสารประกอบการสอนกลุ่มสาระการเรียนวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา พิจารณาเห็นแล้วว่า ท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถ ดังนั้นจึงขอความอนุเคราะห์ท่าน ในการตรวจสอบผลงานทางวิชาการของนางสาวมุกดา เข็มมุข ตามเอกสารที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและให้ความอนุเคราะห์ เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาทางวิชาการของโรงเรียนต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(นายประเสริฐ กุลพิพัฒน์รัตน์)
ผู้อำนวยการโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา

ฝ่ายบริหารงบประมาณและบุคคล
งานบุคคล
โทร ๐-๓๘๕๐-๒๐๐๐
โทรสาร ๐-๓๘๘๓-๐๒๓๐
E-mail kch209@hotmail.com

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ
เกี่ยวกับชุดทดลองหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว

แบบประเมินชุดนี้ เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการพัฒนาชุดทดลองหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในบทเรียนของไหลเรื่องความหนืด

<u>คำชี้แจง</u> แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทดลอง การพัฒนาชุดทดลองและคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู

ตอนที่ 2 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทดลอง การพัฒนาชุดทดลองและคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู

คำชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านโดยมีระดับค่าคะแนน ดังนี้

1 หมายถึง แน่ใจว่าชุดทดลองนี้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา

0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าชุดทดลองนี้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา

-1 หมายถึง แน่ใจว่าชุดทดลองนี้ไม่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น		
		+1	0	-1
	ก. ด้านประสิทธิภาพการทดลอง			
1	สามารถทดลองได้ตรงตามวัตถุประสงค์			
2	เหมาะสมกับระดับผู้เรียน			
3	ชุดทดลองสามารถทำให้การเรียนรู้เข้าใจดียิ่งขึ้น			
4	ช่วยให้การอธิบายทางทฤษฎีลดน้อยลง			

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น		
		+1	0	-1
	ข. ด้านการพัฒนาชุดทดลอง			
1	ใช้หลักการตามมาตรฐานสากล			
2	ชุดทดลองมีขนาดเหมาะสม			
3	ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาง่าย สะดวก			
4	มีความปลอดภัยในการทดลอง			
5	มีความสะดวกในการเก็บและบำรุงรักษา			
	ค. ด้านคู่มือปฏิบัติการสำหรับครู			
1	เนื้อหาทางทฤษฎีมีความสัมพันธ์กันกับชุดทดลอง			
2	ครอบคลุมวัตถุประสงค์ที่เกี่ยวกับหัวข้อในการทดลอง			
3	ใช้ภาษาเข้าใจง่าย			
4	เวลาที่ใช้ในการสอนเหมาะสม			

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แบบประเมินความคิดเห็นของนักเรียน
เกี่ยวกับชุดทดลองหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว

แบบประเมินชุดนี้ เป็นแบบสอบถามเพื่อให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับชุดทดลองหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว

<u>คำชี้แจง</u> แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นของนักเรียน เกี่ยวกับชุดทดลอง ใบความรู้และใบงานการทดลอง

ตอนที่ 2 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็นของนักเรียนเกี่ยวกับการพัฒนาชุดทดลอง ใบความรู้และใบงานการทดลอง

<u>คำชี้แจง</u> กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนโดยมีระดับค่าคะแนน ดังนี้

5 หมายถึง เห็นด้วยอย่างยิ่ง
4 หมายถึง เห็นด้วย
3 หมายถึง ไม่แน่ใจ
2 หมายถึง ไม่เห็นด้วย
1 หมายถึง ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
	ก. ด้านการพัฒนาชุดทดลอง					
1	ชุดทดลองมีความน่าสนใจ					
2	ชุดทดลองมีความสะดวกในการใช้งาน					
3	ชุดทดลองมีความปลอดภัยในการใช้งาน					
4	ชุดทดลองสามารถช่วยให้การเรียนรู้เข้าใจดียิ่งขึ้น					
5	ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการทดลอง					

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
	ข. ด้านใบความรู้					
1	ใช้ภาษาเข้าใจง่าย					
2	ลำดับเนื้อหามีความเหมาะสมเข้าใจง่าย					
3	สามารถศึกษาด้วยตนเองได้					
	ค. ด้านใบงานการทดลอง					
1	ลำดับขั้นตอนการทดลองเข้าใจง่าย					
2	ตารางบันทึกผลการทดลองเข้าใจง่าย					
3	คำถามท้ายการทดลองสอดคล้องกับการทดลอง					

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ ก-1 แสดงการวิเคราะห์ความคิดเห็นจากการประเมินชุดทดลองโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น			IOC
		+1	0	-1	
	ก. ด้านประสิทธิภาพการทดลอง				
1	สามารถทดลองได้ตรงตามวัตถุประสงค์	5	0	0	1.00
2	เหมาะสมกับระดับผู้เรียน	4	1	0	0.80
3	ชุดทดลองสามารถทำให้การเรียนรู้เข้าใจดียิ่งขึ้น	4	1	0	0.80
4	ช่วยให้การอธิบายทางทฤษฎีลดน้อยลง	4	1	0	0.80
	ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยรวม				**0.85**
	ข. ด้านการออกแบบ				
1	ใช้หลักการตามมาตรฐานสากล	3	2	0	0.60
2	ชุดทดลองมีขนาดเหมาะสม	4	1	0	0.80
3	ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาง่าย สะดวก	5	0	0	1.00
4	มีความปลอดภัยในการทดลอง	5	0	0	1.00
5	มีความสะดวกในการเก็บและบำรุงรักษา	5	0	0	1.00
	ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยรวม				**0.88**
	ค. คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู				
1	เนื้อหาทางทฤษฎีมีความสัมพันธ์กันกับชุดทดลอง	5	0	0	1.00
2	ครอบคลุมวัตถุประสงค์ที่เกี่ยวกับหัวข้อในการทดลอง	4	1	0	0.80
3	ใช้ภาษาเข้าใจง่าย	4	1	0	0.80
4	เวลาที่ใช้ในการสอนเหมาะสม	4	1	0	0.80
	ค่าดัชนีความสอดคล้องเฉลี่ยรวม				**0.85**

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ ก-2 แสดงการวิเคราะห์ความคิดเห็นจากประเมินชุดทดลองโดยนักเรียนจำนวน 30 คน

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น (ร้อยละ)					เฉลี่ย	ความเห็น
		5	4	3	2	1		
	ก.ด้านการพัฒนาชุดทดลอง							
1	ชุดทดลองมีความน่าสนใจ	63.33	36.67	0	0	0	4.63	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
2	ชุดทดลองมีความสะดวกในการใช้งาน	56.67	43.33	0	0	0	4.57	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
3	ชุดทดลองมีความปลอดภัยในการใช้งาน	76.67	23.33	0	0	0	4.77	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
4	ชุดทดลองสามารถช่วยให้การเรียนรู้เข้าใจดียิ่งขึ้น	46.67	43.33	10.00	0	0	4.37	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
5	ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการทดลอง	70.00	30.00	0	0	0	4.70	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
					คะแนนเฉลี่ยรวม		**4.61**	**เห็นด้วยอย่างยิ่ง**
	ข.ด้านใบความรู้							
1	ใช้ภาษาเข้าใจง่าย	73.33	26.67	0	0	0	4.73	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
2	ลำดับเนื้อหามีความเหมาะสมเข้าใจง่าย	63.33	36.67	0	0	0	4.63	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
3	สามารถศึกษาด้วยตนเองได้	46.67	53.33	0	0	0	4.47	เห็นด้วย
					คะแนนเฉลี่ยรวม		**4.61**	**เห็นด้วยอย่างยิ่ง**

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น (ร้อยละ)					เฉลี่ย	ความเห็น
		5	4	3	2	1		
	ค.ด้านใบงานการทดลอง							
1	ลำดับขั้นตอนการทดลองเข้าใจง่าย	66.67	33.33	0	0	0	4.67	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
2	ตารางบันทึกผลการทดลองเข้าใจง่าย	50.00	50.00	0	0	0	4.50	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
3	คำถามท้ายการทดลองสอดคล้องกับการทดลอง	60.00	40.00	0	0	0	4.60	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
					คะแนนเฉลี่ยรวม		**4.59**	**เห็นด้วยอย่างยิ่ง**

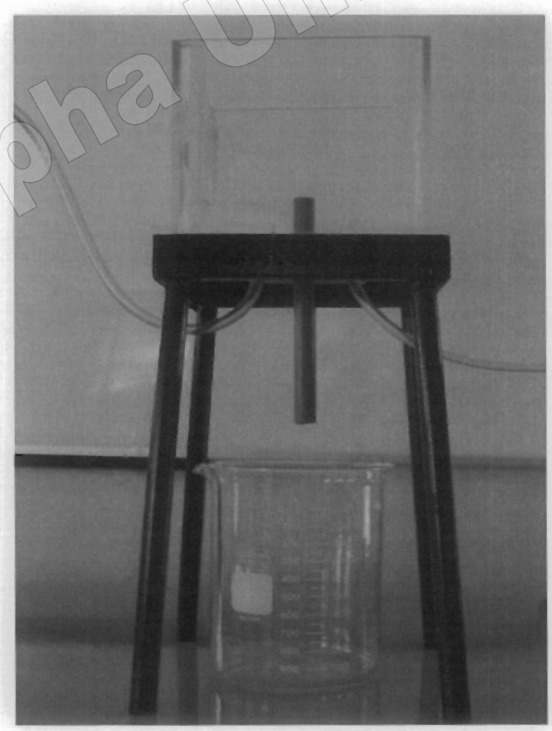
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาคผนวก ข

- การจัดชุดทดลองและอุปกรณ์การทดลอง
- การทดลองหาค่าความหนืดของของเหลว

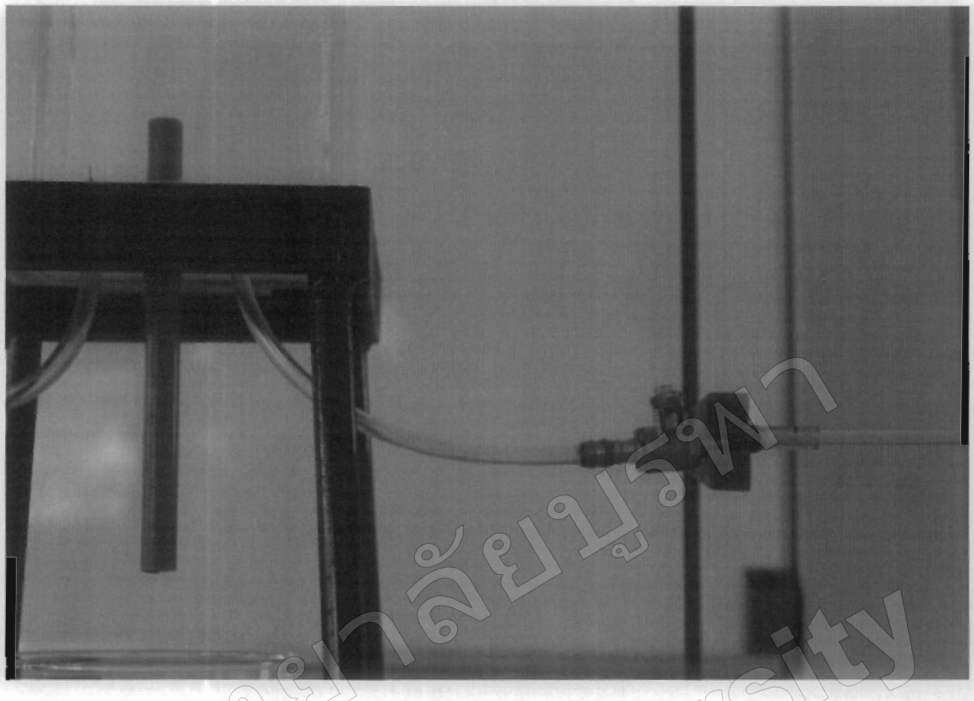
มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาพที่ ข-1 ชุดทดลองหาค่าความหนืดของจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว



ภาพที่ ข-2 ถังบรรจุของเหลวพร้อมท่อน้ำเข้า ท่อน้ำออกและท่อน้ำล้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ ข-3 วาล์วเปิด-ปิดควบคุมการไหล

ภาพที่ ข-4 หลอดแก้วพร้อมขาตั้ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาพที่ ข-5 บีกเกอร์ขนาด 1,000 mL และกระบอกตวง

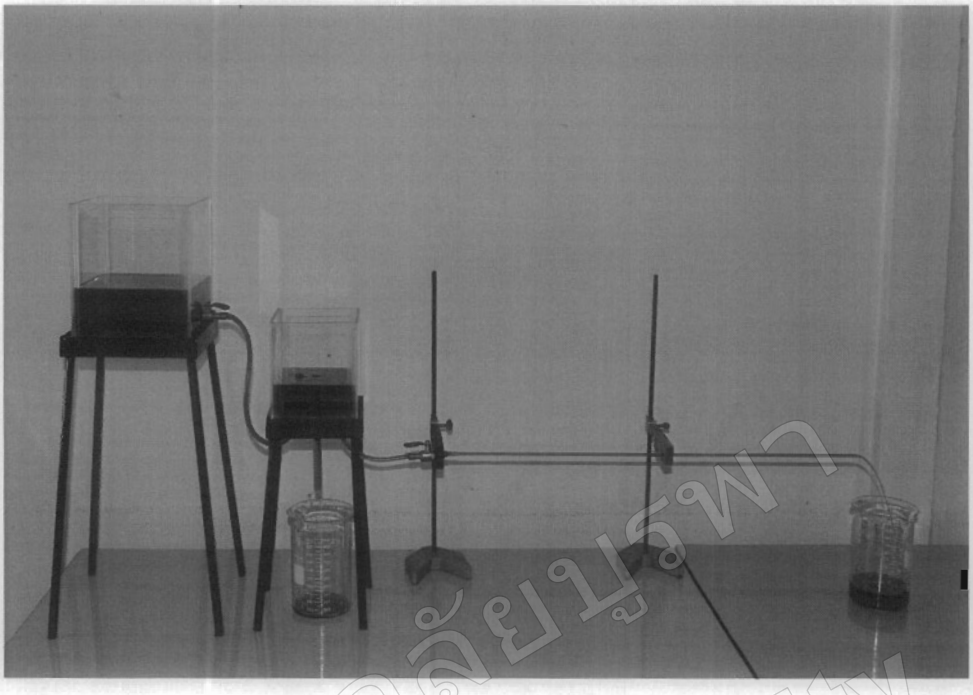
ภาพที่ ข-6 เทอร์โมมิเตอร์และนาฬิกาจับเวลา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาพที่ ข-7 การทดสอบชุดทดลองโดยใช้น้ำกลั่น

ภาพที่ ข-8 การทดลองหาอัตราการไหลของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25% โดยมวล

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ ข-9 การทดลองหาอัตราการไหลของน้ำหวานสีแดงตราเฮลซ์บลูบอยผสมน้ำอัตราส่วน 1: 3 โดยปริมาตร

ภาพที่ ข-10 การทดลองหาอัตราการไหลของนมสดรสหวานพาสเจอร์ไรซ์ตราเมจิ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาคผนวก ค

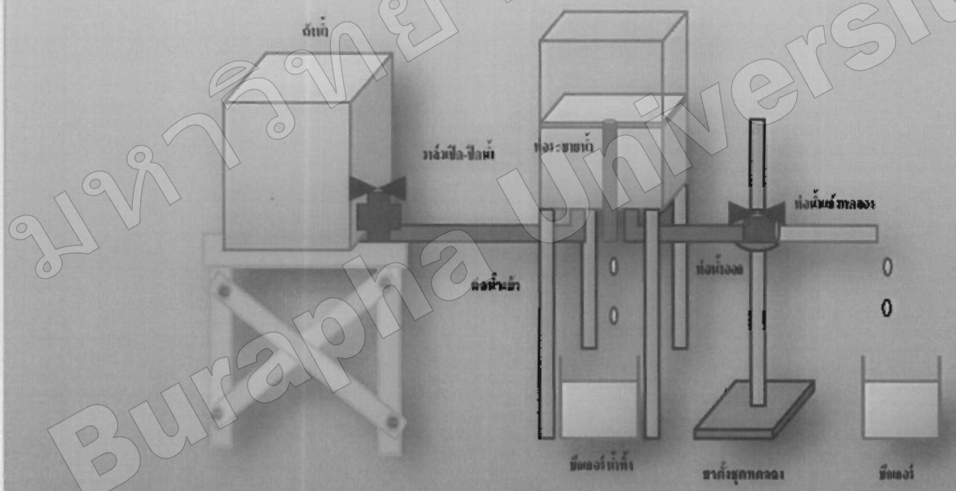
คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู

วิชาฟิสิกส์ 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

เรื่อง การหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว



กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 6
สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

คำนำ

คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู เรื่อง การหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว ใช้สำหรับประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์ 3 ในบทเรียนเรื่อง ของไหล หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา ตามแนวทางการบริหารจัดการหลักสูตร ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานผู้จัดทำจึงได้เรียบเรียงคู่มือชุดนี้ประกอบด้วยข้อแนะนำการใช้คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู แผนการจัดการเรียนรู้ ใบความรู้และใบงานการทดลอง สำหรับครูผู้สอนนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือชุดนี้จะเป็นประโยชน์ต่อครูผู้สอนเป็นอย่างดี

มุกดา เข็มมุข
ผู้จัดทำ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ

	หน้า
ข้อแนะนำในการใช้คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู	1
แผนการจัดการเรียนรู้	2
ใบความรู้	11
ใบงานการทดลอง	19
- หลักการและเหตุผล	19
- วัตถุประสงค์	19
- ผลที่คาดว่าจะได้รับ	19
- ทฤษฎี	20
- อุปกรณ์การทดลอง	21
- วิธีการทดลอง	21
- การบันทึกผลและการจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง	25
- คำถามนำสู่การอภิปรายและสรุปผลการทดลอง	30
- อภิปรายผลการทดลอง	31
- สรุปผลการทดลอง	31
- ตัวอย่างการบันทึกผลและการจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง	32
- ตัวอย่างอภิปรายผลการทดลอง	38
- ตัวอย่างสรุปผลการทดลอง	39

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อแนะนำในการใช้คู่มือปฏิบัติการสำหรับครู

คู่มือปฏิบัติการสำหรับครูประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. แผนการจัดการเรียนรู้
2. ใบความรู้
3. ใบงานการทดลอง

สื่อการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย

1. คู่มือปฏิบัติการ
2. ชุดทดลองหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว

กระบวนการจัดการเรียนรู้

1. การบรรยายและการอภิปราย
2. การสาธิต
3. การทดลอง

การดำเนินการจัดการเรียนรู้

การจัดการเรียนการเรียนรู้ควรจะต้องดำเนินไปตามลำดับของแผนการจัดการเรียนรู้ที่วางไว้โดยนักเรียนจะสามารถเรียนรู้ตามขั้นตอนดังนี้

1. เข้าใจและสามารถอธิบายความหมายเกี่ยวกับอัตราการไหลของของเหลวและความหนืดของของเหลว
2. มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว
3. นำอัตราการไหลมาคำนวณหาค่าความหนืดของของเหลวได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการจัดการเรียนรู้

รายวิชา ฟิสิกส์ 3 **รหัสวิชา ว32203**

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ **โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา**

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ของไหล

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6 เรื่อง การหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว **เวลา 2 คาบ**

ผู้สอน นางสาวมุกดา เข็มมุข

****

สาระสำคัญ

ความหนืดและการไหลของของเหลว

สาระที่ 5 : พลังงาน

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายความหนืดของของเหลวและการไหลของของเหลว
2. ทดลองหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราการไหลของของเหลว

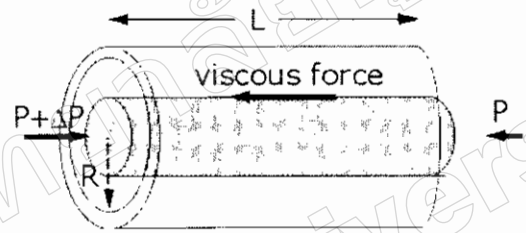
สาระการเรียนรู้

ความหนืด (Viscosity) คือสมบัติของของไหลที่ใช้ต้านต่อความเค้นเฉือนและเป็นแรงต้านทานต่อแรงเฉือน ความหนืดเป็นผลมาจากเมื่อของไหลมีการเคลื่อนที่ ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและมีการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างโมเลกุลของของไหล

การวัดความหนืดขณะของเหลวไหลผ่านท่อแบบราบเรียบเต็มท่อสำหรับของไหลนิวโทเนียนการกระจายความเร็วจะอยู่ในรูปพาราโบลา ดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ของไหลที่มีความหนืดไหลในท่อทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่

การหาค่าความหนืดของของเหลวจากการวัดอัตราการไหล พิจารณาการไหลของของเหลวผ่านท่อกลม ซึ่งเป็นการไหลอย่างสม่ำเสมอ สำหรับอัตราการไหลในท่อเป็นวงแหวนเล็ก ๆ ที่มีรัศมีภายใน r และรัศมีภายนอก R มีความยาว L ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การไหลของของเหลวผ่านท่อกลม

อัตราการไหลของของเหลวในท่อทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ เมื่อ ΔP คือผลต่างความดันที่ปลายทั้งสองข้างของท่อ สามารถหาแรงดันได้จากสมการ

$$F_{pressure} = \Delta P\left(\pi r^2\right)$$

แรงหนืด เป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ของของไหล มีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่และขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของของเหลว พบว่า

$$F_{viscous} = -\eta\left(2\pi rL\right)\frac{dv}{dr}$$

ผลรวมของแรงลัพธ์มีค่าเป็นศูนย์

$$F_{pressure} + F_{viscous} = 0$$

$$\Delta P\left(\pi r^2\right) = \eta\left(2\pi rL\right)\frac{dv}{dr}$$

$$\frac{dv}{dr} = \frac{\Delta P\left(\pi r^2\right)}{\eta\left(2\pi rL\right)}$$

ดังนั้น

$$\frac{dv}{dr} = \left(\frac{\Delta P}{2\eta L}\right)\cdot r \qquad (1)$$

พิจารณาอัตราการไหลของของเหลวในท่อทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ ดังภาพที่ 1 การไหลภายในท่อเป็นแบบ Laminar flow และของไหลมีความหนืดค่าหนึ่ง พบว่าอัตราเร็วของการไหลมีค่ามากที่สุดที่ตรงกลางท่อและอัตราเร็วเป็นศูนย์ที่ผนังท่อ จากสมการที่ (1) การเปลี่ยนแปลงความเร็วเทียบกับรัศมีภายในท่อเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบลดลงจะได้ว่า

$$\frac{dv}{dr} = \left(\frac{\Delta P}{2\eta L}\right)\cdot r \qquad (2)$$

เมื่อพิจารณาวงแหวนเล็ก ๆ ที่มีรัศมีภายใน r รัศมีภายนอก R จากสมการที่ (2) จะได้ว่า

$$\int_{v}^{0} dv = \left(\frac{\Delta P}{2\eta L}\right)\cdot\int_{r}^{R} r dr$$

$$v\left(r\right) = \left(\frac{\Delta P}{4\eta L}\right)\left[R^2 - r^2\right] \qquad (3)$$

และพบว่าอัตราการไหลของของเหลวผ่านวงแหวนนี้มีค่าเป็น $v\cdot dA$

$$\frac{dV}{dt} = \int v\cdot dA \qquad (4)$$

แทนค่า $v(r)$ จากสมการที่ (3) ลงในสมการที่ (4) และหาอัตราการไหลรวมจากการอินทิเกรตค่านี้จาก $r = 0$ ไปยัง $r = R$ จะได้ว่า

$$\frac{dV}{dt} = \int v\cdot dA$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$\frac{dV}{dt} = \int_0^R \left(\frac{\Delta P}{4\eta L}\right)\left[R^2 - r^2\right]\cdot(2\pi r dr)$$

$$\frac{dV}{dt} = \left(\frac{\pi \cdot \Delta P}{2\eta L}\right)\int_0^R \left(R^2 r - r^3\right)dr$$

$$\frac{dV}{dt} = \left(\frac{\pi \cdot \Delta P}{2\eta L}\right)\left[\frac{R^4}{2} - \frac{R^4}{4}\right]$$

จะได้สมการของปัวเซย์ (Poiseuille's equation)

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot R^4}{8\eta L} \tag{5}$$

เมื่อให้ Q เป็นปริมาตรของของเหลว V ในหน่วยลูกบาศก์เมตร ที่ไหลผ่านท่อในเวลา t ในหน่วยวินาที เรียกว่า อัตราการไหล กำหนดให้ η คือ ค่าความหนืดของของเหลวในหน่วยนิวตันวินาทีต่อตารางเมตร ความดันเกจที่กระทำต่อของเหลวในท่อจะสัมพันธ์กับระดับความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ h สมการ (5) เขียนใหม่ได้เป็น

$$Q = \frac{\pi \rho g h R^4}{8\eta L} \tag{6}$$

ดังนั้นค่าความหนืดของของเหลวหาได้จาก

$$\eta = \frac{\pi \rho g h R^4}{8QL} \tag{7}$$

เมื่อ η คือ ค่าความหนืด (kg/m·s หรือ Pa·s)

Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

h คือ ความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ (m)

R คือ รัศมีท่อ (m)

L คือ ความยาวท่อ (m)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ h และอัตราการไหล Q มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงโดยรัศมี R และความยาวของท่อ L คงที่ให้แกนนอนคือระดับความสูงที่ต่าง ๆ แกนตั้งคืออัตราการไหล จะได้ว่า

$$Slope = \frac{\Delta Q}{\Delta h} \tag{8}$$

ดังนั้นจากสมการที่ (7) สามารถหาค่าความหนืดของของเหลวได้ด้วยสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} \tag{9}$$

กระบวนจัดการเรียนรู้

1. ขั้นสร้างความสนใจ

1.1 ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายทบทวนความรู้เกี่ยวกับความหนืด ซึ่งเป็นความเสียดทานภายในของของเหลว

1.2 ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับอัตราการไหลของของเหลวในท่อทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่โดยใช้ภาพที่ 1 ประกอบ พบว่าอัตราเร็วของการไหลมีค่ามากที่สุดที่ตรงกลางท่อและอัตราเร็วเป็นศูนย์ที่ผนังท่อ สามารถหาอัตราการไหลได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยเวลา

1.3 ครูให้นักเรียนยกตัวอย่างการไหลของของเหลวที่มีความหนืดที่พบในชีวิตประจำวัน (การไหลของเลือดในเส้นเลือด การหล่อลื่นของเครื่องยนต์บางส่วน การไหลของน้ำผ่านท่อ เป็นต้น)

1.4 ครูกระตุ้นให้นักเรียนคิดว่า ความหนืดมีผลต่อการไหลของของเหลวหรือไม่อย่างไร

2. ขั้นสำรวจและค้นหา

2.1 ครูให้ความรู้โดยการบรรยายและร่วมกันอภิปรายกับนักเรียนในหัวข้อความหนืดของของเหลวและอัตราการไหลของของเหลวในท่อ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.2 ครูนำเสนอการทดลองการหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลวโดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

- อธิบายทฤษฎีและการคำนวณค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลวตามสมการของปัวเซย์
- บอกวัตถุประสงค์ของการทดลอง
- แนะนำอุปกรณ์การทดลอง
- อธิบายและสาธิตวิธีการทดลอง
- อธิบายวิธีการจัดกระทำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

2.3 นักเรียนทำการทดลอง โดยใช้คู่มือปฏิบัติการสำหรับนักเรียนเพื่อเป็นแนวทางในการทดลอง โดยมีครูดูแลอย่างใกล้ชิดในขณะทำการทดลอง

2.4 หลังจากทำการทดลองนักเรียนทำความสะอาดและเก็บอุปกรณ์การทดลองโดยมีครูคอยดูแลความเป็นระเบียบเรียบร้อย

3. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป

3.1 ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปผลการทดลองด้วยคำถามดังต่อไปนี้

- จากการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของของเหลวกับค่าความหนืดมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร
- ผลการทดลองที่ได้มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับทฤษฎีหรือไม่ อย่างไร

3.2 ครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับเนื้อหาและผลการทดลองว่ามีความสัมพันธ์สอดคล้องกับทฤษฎีอย่างไร

4. ขั้นขยายความรู้

4.1 ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดที่มีผลต่อการไหลของของเหลว ที่นักเรียนพบในชีวิตประจำวัน

4.2 ครูมอบหมายให้นักเรียนเขียนรายงานการทดลองและตอบคำถามท้ายการทดลอง

5. ขั้นประเมิน

5.1 วัดความเข้าใจของนักเรียน โดยการสังเกต ความสนใจ ความตั้งใจเรียน การ

แสดงความคิดเห็น การตอบคำถามและการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน

5.2 ประเมินความถูกต้องในการเขียนรายงานการทดลองและตอบคำถามท้ายการทดลอง

สื่อการเรียนการสอน / แหล่งเรียนรู้

1. คู่มือปฏิบัติการ
2. ชุดทดลองหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แบบบันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง การหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว

ผู้สอน นางสาวมุกดา เข็มมุข

1. ความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ				ข้อเสนอแนะ
	4	3	2	1	
1. จุดประสงค์การเรียนรู้					
2. เนื้อหาสาระ					
3. กิจกรรมการเรียนการสอน					
4. สื่อการสอน					
5. การวัดผลประเมินผล					

(4 = มากที่สุด 3 = มาก 2 = พอใช้ 1 = ควรปรับปรุง)

2. ผลการสอน

……

……

……

3. ปัญหา/ อุปสรรค

……

……

……

……

4. ข้อเสนอแนะ/ แนวทางแก้ไข

……

……

……

ลงชื่อ……ผู้สอน

(นางสาวมุกดา เข็มมุข)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความคิดเห็นของผู้บังคับบัญชา

ความเห็นหัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(นางรุ่งเรือง ตันเจริญ)

ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายบริหารงานวิชาการ

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(นางวรรณชุรีย์ เกิดมงคล)

ความเห็นของผู้บริหารโรงเรียน

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(นายประเสริฐ กุลพิพัฒน์รัตน์)

ผู้อำนวยการโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ใบความรู้

วิชาฟิสิกส์ 3 รหัสวิชา ว 32202

เรื่อง การหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว

ความหนืด (Viscosity) คือสมบัติของของไหลที่ใช้ต้านต่อความเค้นเฉือนและเป็นแรงต้านทานต่อแรงเฉือน ความหนืดเป็นผลมาจากเมื่อของไหลมีการเคลื่อนที่ ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและมีการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างโมเลกุลของของไหล

แรงต้านการเคลื่อนที่ของของไหลมีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของของไหลเรียกว่า **แรงหนืด**

ความหนืดมีความสำคัญต่อการไหลของของไหลในท่อเช่น การไหลของเลือดในเส้นเลือด การหล่อลื่นของเครื่องยนต์บางส่วน เป็นต้น ของไหลที่มีค่าความหนืดมากก็จะเคลื่อนที่ตามแรงเฉือนได้น้อยกว่าของไหลที่มีค่าความหนืดน้อยกว่า เปรียบเสมือนกับว่าของไหลที่มีค่าความหนืดมากจะต้านการเคลื่อนที่ตามแรงเฉือนได้ดีกว่า จากสมการความหนืดของนิวตัน เมื่อกำหนดให้ η แทนค่า**สัมประสิทธิ์ความหนืด** หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า **ความหนืดสัมบูรณ์** (absolute viscosity) หรือ**ความหนืดพลวัต** (dynamic viscosity)

บางครั้งในการคำนวณมีการใช้ค่าความหนืดที่หารด้วยความหนาแน่น เรียกว่า **ความหนืดเชิงจลน์** (kinematic viscosity) แทนด้วย ν หากของไหลที่มีค่าความหนืดพลวัตคงที่ จะเรียกของไหลนั้นว่าเป็นของไหลนิวโตเนียน (Newtonian fluid) หากมีค่าไม่คงที่ จะเรียกว่าของไหลนอนนิวโตเนียน(Non-Newtonian fluid) และถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์จะเรียกว่าของไหลอุดมคติ (Ideal fluid)

เมื่อของไหลเคลื่อนที่จะเกิดความเค้นเฉือน (τ) ขนาดของความเค้นเฉือนขึ้นกับความหนืดของของไหล ซึ่งคือแรงที่ต้องการให้ชั้นของพื้นที่ของไหลหนึ่งหน่วยเลื่อนไปบนของไหลอีกชั้นหนึ่ง ความเค้นเฉือน คือแรงหารด้วยพื้นที่ที่ขนานไปกับการไหลมีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตรหรือปอนด์ต่อตารางฟุต ขนาดของความเค้นเฉือนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของความเร็วระหว่างตำแหน่งในของไหล ความสัมพันธ์ของความหนืดและความเค้นเฉือนพิจารณาของไหลที่อยู่ระหว่างแผ่นแบนราบสองแผ่นซึ่งอยู่ห่างกันไม่มากนักให้แผ่นแบนราบด้านล่างอยู่กับที่และดึงแผ่นราบด้านบนด้วยความเร็ว v ให้เคลื่อนที่ไปทางด้านขวาเพื่อเอาชนะแรงเสียดทาน เนื่องจากความหนืดทำให้เกิดการไหลของของเหลวเป็นชั้น ๆ ลดหลั่นลงมาจากแผ่นบนจนกระทั่ง

ของไหลหยุดนิ่งที่แผ่นล่าง โดยความเร็วเป็นศูนย์ที่แผ่นล่าง ($y=0$) ไปยังความเร็วของแผ่นราบด้านบนเท่ากับ v ($y=y$) เขียนสมการของความเค้นเฉือนของของไหลนิวโตเนียนได้เป็น

$$\tau = \frac{\eta dv}{dy}$$

สมการการไหลของของไหลนิวโตเนียนเรียกว่า กฎความหนืดของนิวตัน (Newton's law of viscosity) หน่วยของความหนืดได้จากการแทนค่าหน่วยของความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนดังสมการ

$$\eta = \frac{\tau}{dv/dy} = \frac{N}{m^2} \cdot \frac{m}{m/s} = Pa \cdot s$$

ตารางที่ 1 หน่วยของความหนืด (ผ่องศรี ศิวราศักดิ์, 2551, หน้า 11)

หน่วยระบบ	**หน่วยของความหนืดไดนามิก**	**หน่วยของความหนืดจลน์**
สากล	$N \cdot s/m^2$, $Pa \cdot s$, $kg/m \cdot s$	m^2/s
อเมริกัน	$Lb \cdot s/ft^2$, $slug/ft \cdot s$	ft^2/s
ซีจีเอส	poise = $dyne \cdot s/cm^2$ = $g/cm \cdot s$ = 0.1 $Pa \cdot s$	stoke = $cm^2/s = 1 \times 10^{-4}\ m^2/s$
	centipoises = poise/100	centistokes = stoke/100
	centipoises =0.001 $Pa \cdot s$ =1.0 m $Pa \cdot s$	centistokes =$1 \times 10^{-6}\ m^2/s$ = 1m m^2/s

ความหนืดของของไหลแปรผันกับอุณหภูมิ ซึ่งขึ้นกับว่าของไหลนั้นเป็นของเหลวหรือก๊าซ โดยความหนืดของของเหลวจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังสมการประมาณค่าความหนืดซึ่งเป็นฟังก์ชั่นกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ คือ

$$ln\ \eta = a + b\ ln\ T \quad หรือ \quad \eta = e^{a + b\ ln\ T}$$

สำหรับค่าคงที่ a และ b ของของเหลวบางชนิดที่อุณหภูมิ K หรือ R โดยหน่วยของความหนืดคือ เซ็นติพอยส์ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ของความหนืดสำหรับของเหลว (ผ่องศรี ศิวราศักดิ์, 2551, หน้า 11)

ของเหลว	T (K)		T (°R)	
	a	b	a	b
อะซีโตน	14.64	-2.77	16.29	2.77
เบนซีน	21.99	-3.95	24.34	-3.95
น้ำมันดิบ 35°API	53.73	-9.01	59.09	-9.01
เอทานอล	31.63	-5.53	34.93	-5.53
กลีเซอรอล	106.76	-17.60	117.22	-17.60
น้ำมันก๊าด	33.41	-5.72	36.82	-5.72
เมทานอล	22.18	-3.99	24.56	-3.99
ออกเทน	17.86	-3.25	19.80	-3.25
เพนเทน	13.46	-2.62	15.02	-2.62
น้ำ	29.76	-5.24	32.88	-5.24

ความหนืดของของเหลวแปรผกผันกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนืดของของเหลวจะมีค่าลดลง ตัวอย่างความหนาแน่นและความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังตารางที่ 3

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นและความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (Ligget, 1994)

อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ความหนืด ($N.s/m^2 \times 10^{-3}$)
0	999.8	1.80
5	1000.0	1.52
10	999.7	1.31
15	999.2	1.15
20	998.3	1.00
25	997.1	0.897
30	995.7	0.801
40	992.3	0.659
50	988.0	0.544
60	983.2	0.470
70	977.7	0.405
80	971.6	0.356
90	965.1	0.318
100	958.1	0.284

การวัดความหนืด

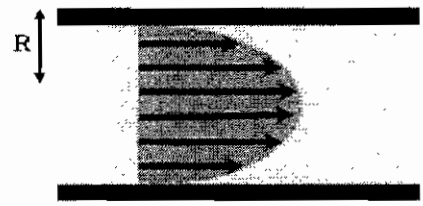
การวัดความหนืดโดยใช้เครื่องมือวัดความหนืดของของเหลว เรียกว่า มาตรความหนืด (Viscometer) ขณะทำการวัดความหนืดภายในมาตรวัดจะบรรจุของเหลวที่ต้องการวัดและทำให้ของเหลวนั้นเคลื่อนที่หรือไหลแบบราบเรียบโดยการทำให้ของเหลวนั้นมีความแตกต่างของความดัน หรืออาจจะหมุนมาตรวัดทำให้ของเหลวดังกล่าวเกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากความหนืดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นระหว่างทำการวัดจะต้องควบคุมอุณหภูมิของของเหลวให้มีค่าคงตัว

มาตรความหนืดจำแนกออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ มาตรวัดความหนืดเซย์โบลต์ มาตรความหนืดชนิดถ้วยหมุน มาตรความหนืดชนิดอาศัยการตกของลูกกลมเหล็กและท่อวัดความหนืด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

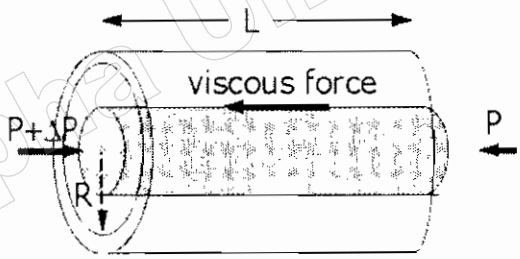
ท่อวัดความหนืด

การวัดความหนืดขณะของเหลวไหลผ่านท่อแบบราบเรียบจากการไหลแบบราบเรียบเต็มท่อสำหรับของไหลนิวโทเนียนการกระจายความเร็วจะอยู่ในรูปพาราโบลา ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ของไหลที่มีความหนืดไหลในท่อทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่

การหาค่าความหนืดของของเหลวจากการวัดอัตราการไหล จะพิจารณาการไหลของของเหลวผ่านท่อกลม ซึ่งเป็นการไหลอย่างสม่ำเสมอสำหรับอัตราการไหลในท่อเป็นวงแหวนที่มีรัศมีภายใน r และรัศมีภายนอก R มีความยาว L ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การไหลของของเหลวผ่านท่อกลม

อัตราการไหลของของเหลวในท่อทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ เมื่อ ΔP คือผลต่างความดันที่ปลายทั้งสองข้างของท่อ สามารถหาแรงดันได้จากสมการ

$$F_{pressure} = \Delta P\left(\pi r^2\right)$$

แรงหนืด เป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ของของไหล มีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่และขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของของเหลว พบว่า

$$F_{viscosity} = -\eta(2\pi rL)\frac{dv}{dr}$$

ผลรวมของแรงลัพธ์มีค่าเป็นศูนย์

$$F_{pressure} + F_{viscosity} = 0$$

$$\Delta P(\pi r^2) = \eta(2\pi rL)\frac{dv}{dr}$$

$$\frac{dv}{dr} = \frac{\Delta P(\pi r^2)}{\eta(2\pi rL)}$$

ดังนั้น

$$\frac{dv}{dr} = \left(\frac{\Delta P}{2\eta L}\right)\cdot r \qquad (1)$$

พิจารณาอัตราการไหลของของเหลวในท่อทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ ดังภาพที่ 1 การไหลภายในท่อเป็นแบบ Laminar flow และของไหลมีความหนืดค่าหนึ่ง พบว่าอัตราเร็วของการไหลมีค่ามากที่สุดที่ตรงกลางท่อและอัตราเร็วเป็นศูนย์ที่ผนังท่อ จากสมการที่ (1) การเปลี่ยนแปลงความเร็วเทียบกับรัศมีภายในท่อเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบลดลงจะได้ว่า

$$\frac{dv}{dr} = \left(\frac{\Delta P}{2\eta L}\right)\cdot r \qquad (2)$$

เมื่อพิจารณาวงแหวนเล็ก ๆ ที่มีรัศมีภายใน r รัศมีภายนอก R จากสมการที่ (2) จะได้ว่า

$$\int_{v}^{0} dv = \left(\frac{\Delta P}{2\eta L}\right)\cdot\int_{r}^{R} r\,dr$$

$$v(r) = \left(\frac{\Delta P}{4\eta L}\right)\left[R^2 - r^2\right] \qquad (3)$$

และพบว่าอัตราการไหลของของเหลวผ่านวงแหวนนี้มีค่าเป็น $v\cdot dA$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$\frac{dV}{dt} = \int v \cdot dA \tag{4}$$

แทนค่า $v(r)$ จากสมการที่ (3) ลงในสมการที่ (4) และหาอัตราการไหลรวมจากการอินทิเกรตค่านี้จาก $r = 0$ ไปยัง $r = R$ จะได้ว่า

$$\frac{dV}{dt} = \int v \cdot dA$$

$$\frac{dV}{dt} = \int_0^R \left(\frac{\Delta P}{4\eta L}\right)\left[R^2 - r^2\right] \cdot (2\pi r dr)$$

$$\frac{dV}{dt} = \left(\frac{\pi \cdot \Delta P}{2\eta L}\right)\int_0^R \left(R^2 r - r^3\right) dr$$

$$\frac{dV}{dt} = \left(\frac{\pi \cdot \Delta P}{2\eta L}\right)\left[\frac{R^4}{2} - \frac{R^4}{4}\right]$$

จะได้สมการของปัวเซย์ (Poiseuille's equation)

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot R^4}{8\eta L} \tag{5}$$

เมื่อให้ Q เป็นปริมาตรของของเหลว V ในหน่วยลูกบาศก์เมตร ที่ไหลผ่านท่อในเวลา t ในหน่วยวินาที เรียกว่า อัตราการไหล กำหนดให้ η คือ ค่าความหนืดของของเหลวในหน่วยนิวตันวินาทีต่อตารางเมตร ความดันเกจที่กระทำต่อของเหลวในท่อจะสัมพันธ์กับระดับความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ h สมการ (5) เขียนใหม่ได้เป็น

$$Q = \frac{\pi \rho g h R^4}{8\eta L} \tag{6}$$

ดังนั้นค่าความหนืดของของเหลวหาได้จาก

$$\eta = \frac{\pi \rho g h R^4}{8QL} \tag{7}$$

เมื่อ η คือ ค่าความหนืด (kg/m·s หรือ Pa·s)

Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

h คือ ความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ (m)

R คือ รัศมีท่อ (m)

L คือ ความยาวท่อ (m)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ h และอัตราการไหล Q มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงโดยรัศมี R และความยาวของท่อ L คงที่ให้แกนนอนคือระดับความสูงที่ต่าง ๆ แกนตั้งคืออัตราการไหล จะได้ว่า

$$Slope = \frac{\Delta Q}{\Delta h} \tag{8}$$

ดังนั้นจากสมการที่ (7) สามารถหาค่าความหนืดของของเหลวได้ด้วยสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} \tag{9}$$

เอกสารอ้างอิง

ผ่องศรี ศิวราศักดิ์. (2551). *กลศาสตร์ของไหลประยุกต์*. กรุงเทพฯ : ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น.

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (ม.ป.ป.). ปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป ๑. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มนตรี พิรุณเกษตร. (2549). *กลศาสตร์ของไหล*. กรุงเทพฯ : วิทยพัฒน์.

วิโรจน์ ลิ่มตระการ. (2552). *กลศาสตร์ของไหล*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2549). *หนังสือสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม ๒*. กรุงเทพฯ : คุรุสภาลาดพร้าว.

Ligget, Jame A. (1994). *Fluid mechanics*. New York : McGraw-Hill Book.

Sayers,A.T. (1992). *Fluid mechanics : an introduction*. Cape Town : Oxford University Press.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ใบงานการทดลอง

วิชาฟิสิกส์ 3 รหัสวิชา ว 32202

เรื่อง การหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว

ชุดทดลองนี้ใช้เพื่อทดลองหาความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลวโดยแบ่งเป็น 2 ตอนดังนี้

1. การหาความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลวที่ทราบค่าความหนืดได้แก่ น้ำกลั่น และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวล

2. การหาความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลวที่ไม่ทราบค่าความหนืดได้แก่ น้ำหวานและนม

หลักการและเหตุผล

ความหนืดเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของของเหลว ของเหลวที่มีความหนืดมากจะมีแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวนั้นมาก แรงต้านการเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากความหนืดของของเหลว เรียกว่า แรงหนืด สำหรับอัตราการไหลของของเหลวจะพิจารณาจากปริมาตรของของเหลวที่ไหลผ่านท่อต่อหนึ่งหน่วยเวลา การทดลองหาความหนืดของของเหลวจากการวัดอัตราการไหลจะช่วยให้ผู้เรียนได้ค้นพบคำตอบด้วยตนเอง และมีประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้ เป็นการสนับสนุนให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากสื่อที่เป็นรูปธรรมนำไปสู่ความเข้าใจในหลักการมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว

2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงและอัตราการไหลของของเหลวที่มีค่าความหนืดคงที่

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลวได้

2. สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงและอัตราการไหลของของเหลวที่มีค่าความหนืดคงที่

ทฤษฎี

ความหนืด (Viscosity) คือสมบัติของของไหลที่ใช้ต้านต่อความเค้นเฉือนและเป็นแรงต้านทานต่อแรงเฉือน ความหนืดเป็นผลมาจากเมื่อของไหลมีการเคลื่อนที่ ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและมีการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างโมเลกุลของของไหล

ท่อวัดความหนืด การหาค่าความหนืดของของเหลวจากการวัดอัตราการไหลผ่านท่อซึ่งเป็นการไหลอย่างสม่ำเสมอ สามารถหาได้จากสมการของปัวเซย์ (Poiseuille's equation)

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot R^4}{8\eta L} \tag{1}$$

เมื่อให้ Q เป็นปริมาตรของของเหลว V ในหน่วยลูกบาศก์เมตร ที่ไหลผ่านท่อในเวลา t ในหน่วยวินาที และให้ η คือ ค่าความหนืดของของเหลวในหน่วย นิวตันวินาทีต่อตารางเมตร ความดันเกจ ที่กระทำต่อของเหลวในท่อจะสัมพันธ์กับระดับความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ h สมการที่ (1) เขียนใหม่ได้เป็น

$$Q = \frac{\pi \rho g h R^4}{8\eta L} \tag{2}$$

ดังนั้นค่าความหนืดของของเหลวหาได้จาก

$$\eta = \frac{\pi \rho g h R^4}{8QL} \tag{3}$$

เมื่อ η คือ ค่าความหนืด (kg/m·s หรือ Pa·s)

Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

h คือ ความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ (m)

R คือ รัศมีท่อ (m)

L คือ ความยาวท่อ (m)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ h และอัตราการไหล Q มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงโดยรัศมี R และความยาวของท่อ L คงที่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ให้แกนนอนคือระดับความสูงที่ต่าง ๆ แกนตั้งคืออัตราการไหล จะได้ว่า

$$Slope = \frac{\Delta Q}{\Delta h} \tag{4}$$

ดังนั้นจากสมการ (3) สามารถหาค่าความหนืดของของเหลวได้ดังสมการที่ (5)

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} \tag{5}$$

และหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (%Error) ดังสมการที่ (6)

$$\text{ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{\left|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}\right|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100\% \tag{6}$$

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดทดลองหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว
2. อุปกรณ์ประกอบชุดทดลอง ได้แก่ นาฬิกาจับเวลา กระบอกตวง
3. หลอดแก้วทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4 มิลลิเมตร ความยาว 75 เซนติเมตร
4. เครื่องคิดเลขดิจิตอลแบบวิทยาศาสตร์
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. น้ำกลั่น
7. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวล
8. น้ำหวาน
9. นม

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาค่าความหนืดของของเหลวที่ทราบค่าความหนืดได้แก่ น้ำกลั่นและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวล

1. จัดชุดทดลองตามภาพที่ 3 จัดหลอดแก้วให้อยู่ในแนวระดับ ใช้น้ำกลั่นเป็นของเหลวในการทดลองเปิดวาล์ว 1ให้ของเหลวไหลเข้าสู่ถังเล็ก ให้ระดับของเหลวในถังเล็กคงที่ของเหลวส่วนที่เกินจะล้นและไหลออกทางท่อระบายน้ำล้นออกไป

2. เมื่อระดับของเหลวคงที่วัดความสูง (h) ของระดับของเหลวในถังจนถึงหลอดแก้วแก้ว 5 เซนติเมตร และวัดความยาวของหลอดแก้ว (L) บันทึกค่าไว้

ภาพที่ 3 การจัดชุดทดลอง

3. เปิดวาล์ว 2 ให้ของเหลวไหลผ่านหลอดแก้ว นำบีกเกอร์รองของเหลวที่ไหลออกมา โดยเริ่มจับเวลาขณะตั้งแต่ขณะเปิดวาล์ว 30 วินาทีแล้วปิด ตวงปริมาตรของของเหลวด้วยกระบอกตวง บันทึกปริมาตรลงในตารางบันทึกผล ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง คำนวณหาปริมาตรเฉลี่ย (ดูภาพที่ 4)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาพที่ 4 ของเหลวขณะไหลผ่านหลอดแก้ว

4. คำนวณอัตราการไหลของของเหลว Q จากอัตราส่วนระหว่างปริมาตรเฉลี่ยของของเหลวต่อหนึ่งหน่วยเวลา

5. เพิ่มความสูงของระดับของเหลวในถังจนถึงหลอดแก้วเป็น 10 15 20 และ 25 เซนติเมตรตามลำดับ ทดลองและบันทึกผลลงในตาราง ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

6. เปลี่ยนของเหลวเป็นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวล แล้วทดลองตามข้อ 1-5

7. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว โดยให้แกนตั้งเป็นอัตราการไหลและแกนนอนเป็นระดับความสูงของของเหลว แล้วทำการเฉลี่ยให้กราฟเป็นเส้นตรง (อาจวาดกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel)

8. เลือกจุดบนกราฟที่ได้จากการทดลองสองจุดแล้วคำนวณหาค่าความชันของกราฟ (อาจใช้ความชันของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + C$)

9. นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการที่ (5)

10. เปรียบเทียบค่าความหนืดของของเหลวที่ได้จากการทดลองกับทฤษฎีแล้วหาร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทดลองตามสมการที่ (6)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

11. ทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

<u>ตอนที่ 2</u> การหาค่าความหนืดของของเหลวที่ไม่ทราบค่าจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว 2 ชนิด ได้แก่ น้ำหวานและนม โดยใช้น้ำหวานสีแดงตราเฮลซ์บลูบอยผสมน้ำอัตราส่วน 1: 3 โดยปริมาตรและใช้นมสดรสหวานพาสเจอร์ไรซ์ตราเมจิ

1. จัดชุดทดลองตามภาพที่ 3 จัดหลอดแก้วให้อยู่ในแนวระดับ ใช้น้ำหวานเป็นของเหลวในการทดลอง เปิดวาล์ว 1ให้ของเหลวไหลเข้าสู่ถังเล็ก ให้ระดับของเหลวในถังคงที่ ของเหลวส่วนที่เกินจะล้นและไหลออกทางท่อระบายน้ำล้นทิ้งออกไป

2. เมื่อระดับของเหลวคงที่วัดความสูง (h) ของระดับของเหลวในถังน้ำจนถึงหลอดแก้ว 5 เซนติเมตร และวัดความยาวของท่อ (L) บันทึกค่าไว้

3. เปิดวาล์ว 2 ให้ของเหลวไหลผ่านหลอดแก้ว นำบีกเกอร์รองของเหลวที่ไหลออกมา โดยเริ่มจับเวลาขณะตั้งแต่ขณะเปิดวาล์ว 30 วินาทีแล้วปิดวาล์ว ตวงปริมาตรของของเหลวด้วยกระบอกตวง บันทึกลงในตารางบันทึกผลการทดลอง ทดลองซ้ำ 5 ครั้งคำนวณหาปริมาตรเฉลี่ย

4. คำนวณอัตราการไหลของของเหลว Q จากอัตราส่วนระหว่างปริมาตรเฉลี่ยของของเหลวต่อหนึ่งหน่วยเวลา

5. เพิ่มความสูงของระดับของเหลวในถังจนถึงหลอดแก้วเป็น 10 15 20 และ 25 เซนติเมตรตามลำดับ บันทึกผลการทดลองลงในตาราง ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

6. เปลี่ยนของเหลวเป็นนม แล้วทำการทดลองตามข้อ 1-5

7. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว โดยให้แกนตั้งเป็นอัตราการไหลและแกนนอนเป็นระดับความสูงของของเหลว แล้วทำการเฉลี่ยให้กราฟเป็นเส้นตรง (อาจวาดกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel)

8. เลือกจุดบนกราฟที่ได้จากการทดลองสองจุดแล้วคำนวณหาค่าความชันของกราฟ (อาจใช้ความชันของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + C$)

9. นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการที่ (5)

10. ทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

การบันทึกผลการทดลองและการจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาค่าความหนืดของของเหลวที่ทราบค่าความหนืดได้แก่ น้ำกลั่น สารละลายโซเดียม คลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวล

1. น้ำกลั่น

อุณหภูมิ T = ... °C

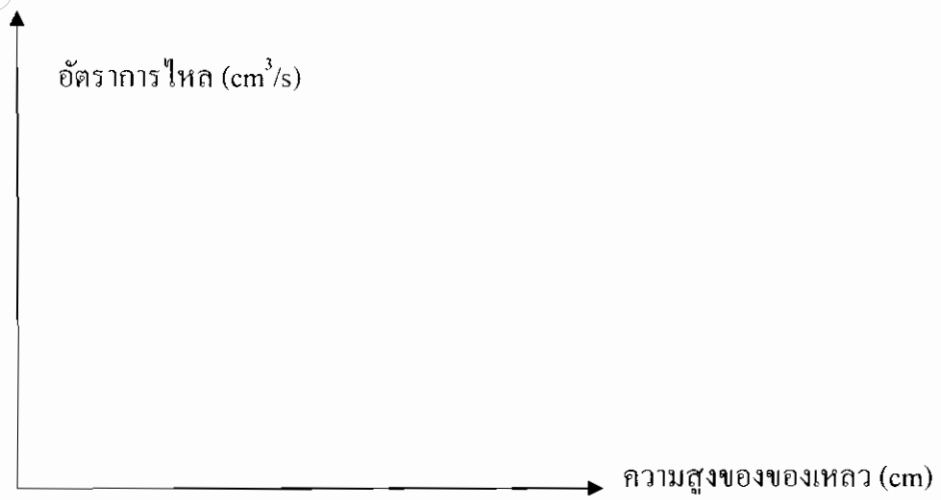
ความหนาแน่นของของเหลว ρ =.....kg/m^3

ขนาดรัศมีท่อ R = ... mm

ความยาวท่อ L = ... cm

ความสูงของของเหลว (cm)	ปริมาตร (cm^3) เมื่อเวลา 30 วินาที						อัตราการไหล (cm^3/s)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว จากตารางบันทึกผลการทดลอง



มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Slope = _____ = _____ cm^2/s

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} = _____ \text{ Pa·s}$$

คำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อน (% error) จากการทดลอง

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100$$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ _____

2. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวล

อุณหภูมิ T = ...°C

ความหนาแน่นของของเหลว ρ =.....kg/m^3

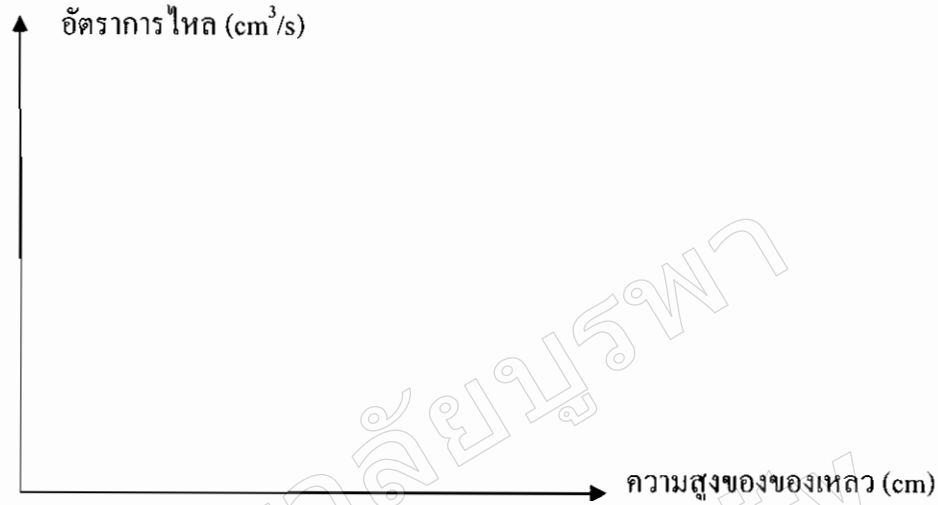
ขนาดรัศมีท่อ R = ... mm

ความยาวท่อ L = ... cm

ความสูงของของเหลว (cm)	ปริมาตร (cm^3) เมื่อเวลา 30 วินาที						อัตราการไหล (cm^3/s)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	

<u>กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว</u>

<u>จากตารางบันทึกผลการทดลอง</u>



Slope = _____ = _____ cm^2/s

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} = _____ \text{ Pa·s}$$

คำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อน (% error) จากการทดลอง

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100$$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ _____

ตอนที่ 2 การหาค่าความหนืดของของเหลวที่ไม่ทราบค่าความหนืดได้แก่ น้ำหวานและนม

1. น้ำหวาน

อุณหภูมิ T = ...°C

ความหนาแน่นของของเหลว ρ=.....kg/m^3

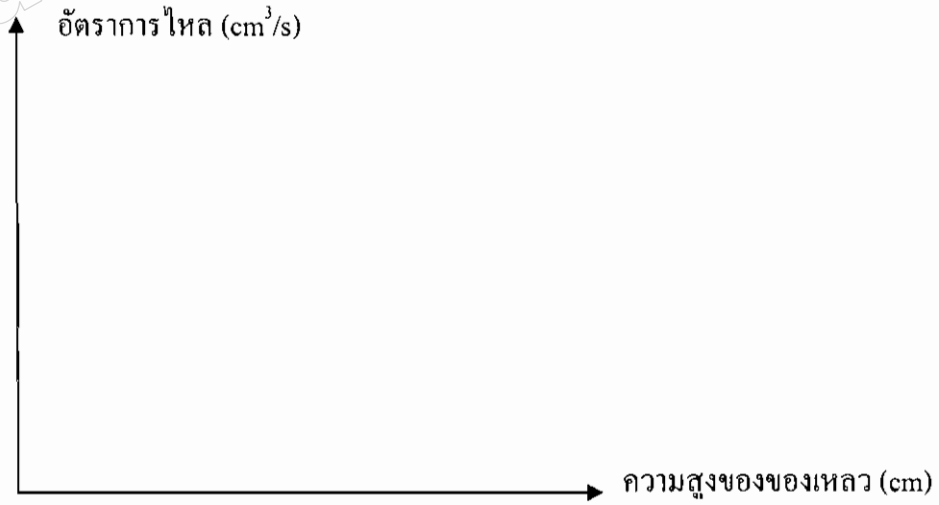
ขนาดรัศมีท่อ R = ... mm

ความยาวท่อ L = ... cm

ความสูงของของเหลว (cm)	ปริมาตร (cm^3) เมื่อเวลา 30 วินาที						อัตราการไหล (cm^3/s)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว

จากตารางบันทึกผลการทดลอง



มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Slope =_____=_____ cm^2/s

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} = _____ \text{ Pa·s}$$

2. นม

อุณหภูมิ T = ...C

ความหนาแน่นของของเหลว ρ =.....kg/m^3

ขนาดรัศมีท่อ R = ... mm

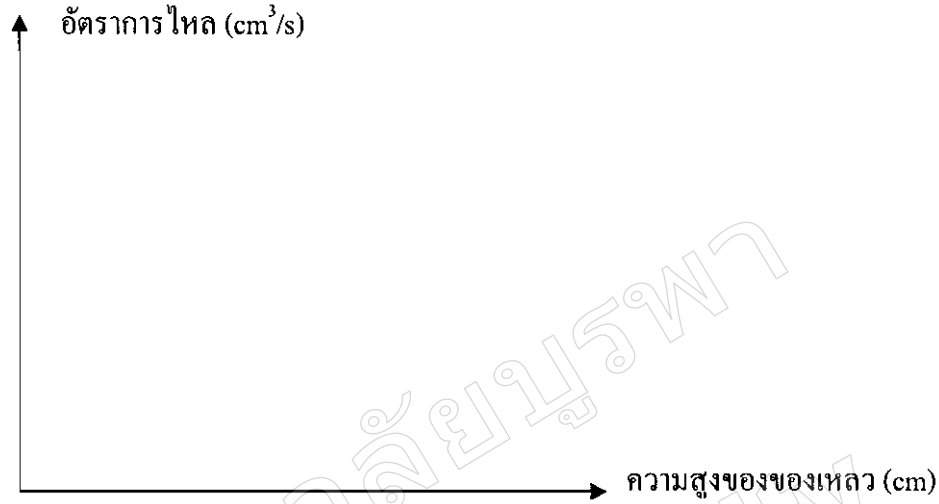
ความยาวท่อ L = ... cm

ความสูงของของเหลว (cm)	ปริมาตร (cm^3) เมื่อเวลา 30 วินาที						อัตราการไหล (cm^3/s)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
5							
10							
15							
20							
25							

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

<u>กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว</u>

<u>จากตารางบันทึกผลการทดลอง</u>



Slope =_____=_____ cm^2/s

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} = _____ \text{ Pa·s}$$

คำถามนำสู่การอภิปรายและสรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับความสูงของของเหลวมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร

2. ค่าความหนืดของของเหลวที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐานมีความคลาดเคลื่อนอย่างไรและถือว่าเป็นผลการทดลองที่ใช้ได้หรือไม่

3. ผลการทดลองที่ได้มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับทฤษฎีหรือไม่ อย่างไร

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การอภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตัวอย่าง การบันทึกผลการทดลองและการจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาค่าความหนืดของของเหลวที่ทราบค่าความหนืดได้แก่ น้ำกลั่น และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 %โดยมวล

1. น้ำกลั่น อุณหภูมิ $T = 30$ °C

ความหนาแน่นของของเหลว $\rho = 996$ kg/m^3

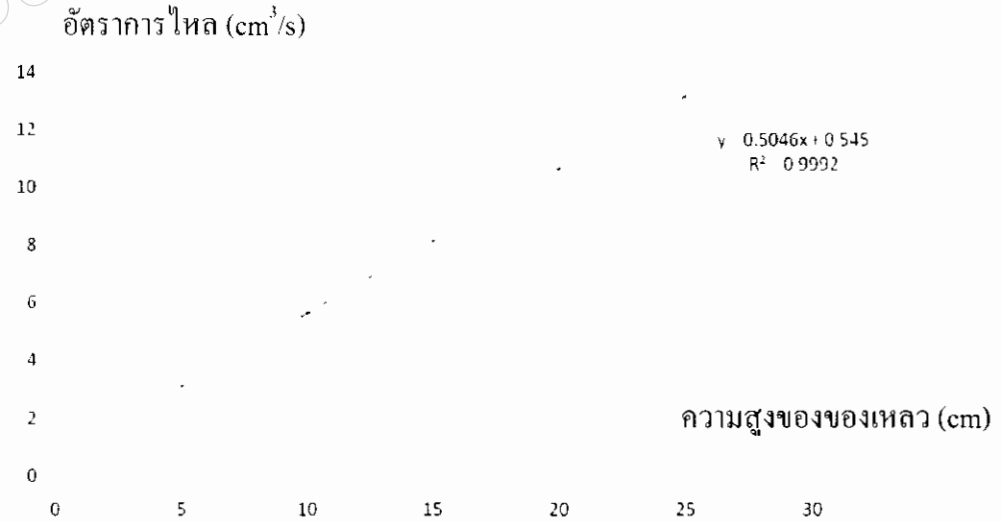
ขนาดรัศมีท่อ $R = 2.0$ mm

ความยาวท่อ $L = 75$ cm

ความสูงของของเหลว (cm)	ปริมาตร (cm^3) เมื่อเวลา 30 วินาที						อัตราการไหล (cm^3/s)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
5	97	97	97	96	97	96.8	3.23
10	180	181	180	180	181	180.4	6.01
15	247	248	248	247	247	247.4	8.25
20	325	326	325	326	325	325.4	10.85
25	402	403	402	402	402	402.2	13.41

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว

จากตารางบันทึกผลการทดลอง



มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Slope = $\frac{\Delta Q}{\Delta h}$ = 0.5046 cm^2/s

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} = 0.811 \times 10^{-3}\ Pa \cdot s$$

คำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อน (% error) จากการทดลอง

ร้อยละความคลาดเคลื่อน = $\frac{|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100$

ร้อยละความคลาดเคลื่อน = $\left|\frac{0.811 \times 10^{-3} - 0.801 \times 10^{-3}}{0.801 \times 10^{-3}}\right| \times 100$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.30

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวล

อุณหภูมิ T =30 °C

ความหนาแน่นของของเหลว ρ = 1180 kg/m^3

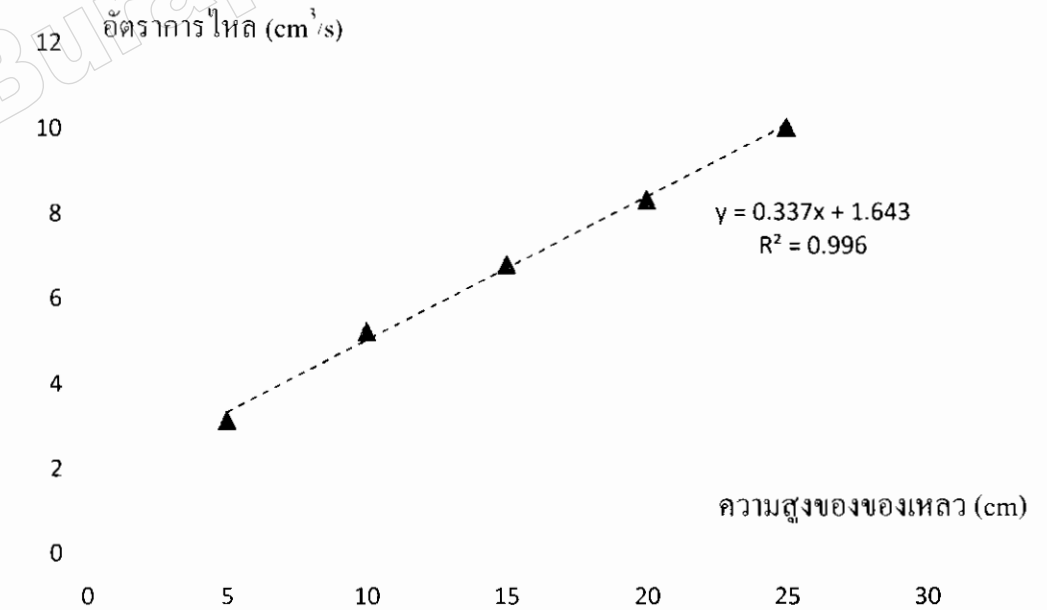
ขนาดรัศมีท่อ R = 2.0 mm

ความยาวท่อ L = 75 cm

ความสูงของของเหลว (cm)	ปริมาตร (cm^3) เมื่อเวลา 30 วินาที						อัตราการไหล (cm^3/s)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
5	94.1	94.3	94.2	94.2	94.4	94.2	3.14
10	156.5	157.0	156.8	157.0	157.0	156.9	5.23
15	204.0	204.2	204.0	203.9	204.0	204.0	6.80
20	249.2	249.5	250.0	249.6	249.6	249.6	8.32
25	301.0	300.6	301.5	300.5	301.0	300.9	10.03

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว

จากตารางบันทึกผลการทดลอง



หน้า 34

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Slope $= \frac{\Delta Q}{\Delta h} = 0.3374\ \text{cm}^2/\text{s}$

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} = 1.438 \times 10^{-3}\ \text{Pa·s}$$

คำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อน (% error) จากการทดลอง

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|1.438 \times 10^{-3} - 1.463 \times 10^{-3}|}{1.463 \times 10^{-3}} \times 100$$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.73

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตอนที่ 2 การหาค่าความหนืดของของเหลวที่ไม่ทราบค่าความหนืดได้แก่ น้ำหวานและนม

1. น้ำหวาน

อุณหภูมิ $T =$ 30 °C

ความหนาแน่นของน้ำหวาน ρ = 1100 kg/m^3

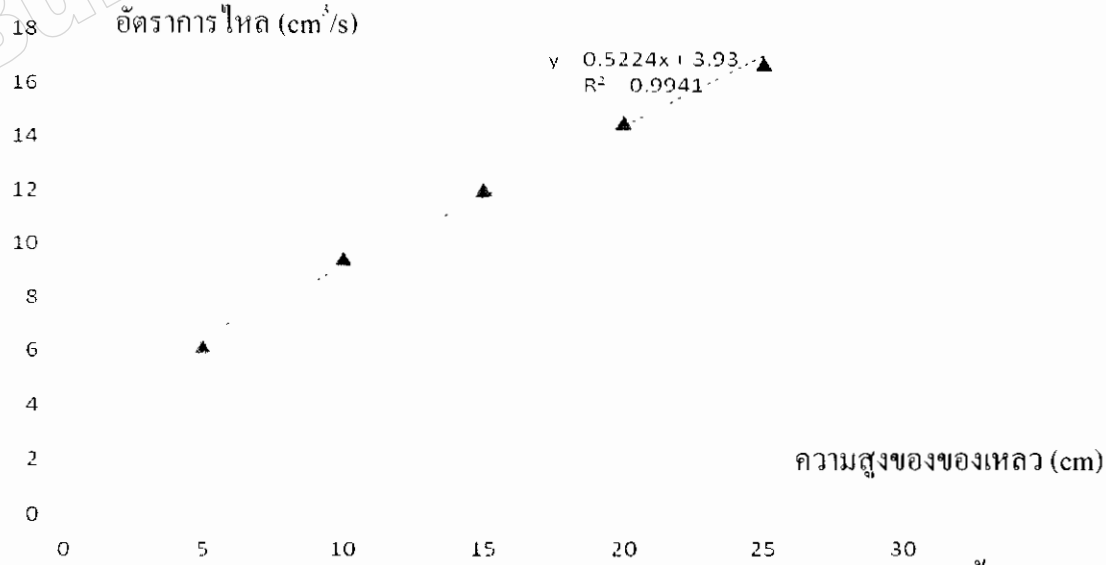
ขนาดรัศมีท่อ $R =$ 2 mm

ความยาวท่อ $L =$ 75 cm

ความสูงของของเหลว (cm)	ปริมาตร (cm^3) เมื่อเวลา 30 วินาที						อัตราการไหล (cm^3/s)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
5	185.3	184.5	184.4	185.0	184.5	184.7	6.16
10	283.4	283.4	283.5	283.9	283.5	283.6	9.45
15	361.4	358.6	360.6	360.6	362.5	360.7	12.02
20	434.9	435.4	435.4	435.7	435.6	435.4	14.51
25	500.5	500.5	500.8	500.7	500.9	500.7	16.69

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว

จากตารางบันทึกผลการทดลอง



Slope = $\frac{\Delta Q}{\Delta h}$ = 0.5224 cm^2/s

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} = 0.865 \times 10^{-3}\ Pa{\cdot}s$$

2. นม

อุณหภูมิ T = 30 °C

ความหนาแน่นของนม ρ = 1050 kg/m^3

ขนาดรัศมีท่อ R = 2 mm

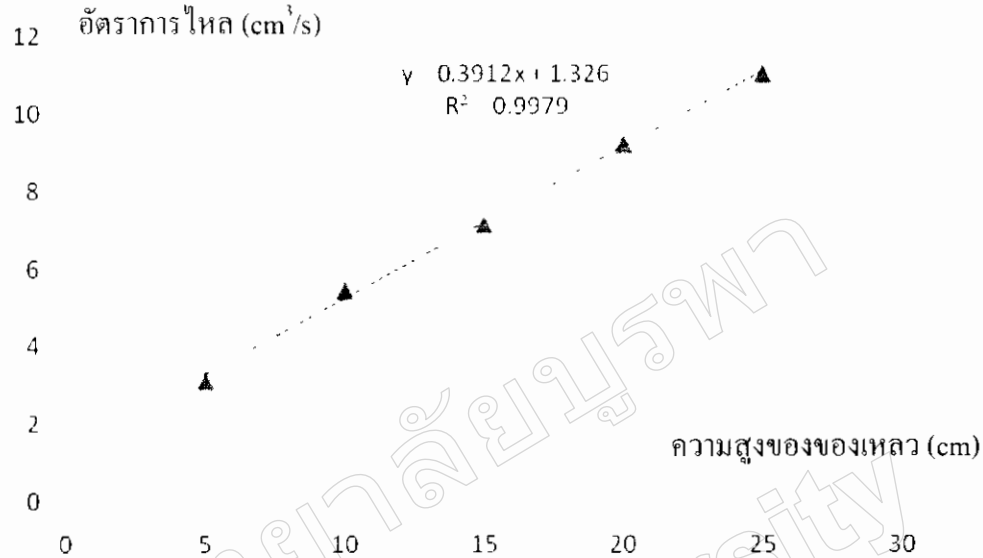
ความยาวท่อ L = 75 cm

ความสูงของของเหลว (cm)	ปริมาตร (cm^3) เมื่อเวลา 30 วินาที						อัตราการไหล (cm^3/s)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
5	93.9	93.8	94.0	94.0	94.0	93.9	3.13
10	163.0	163.4	163.5	163.6	164.0	163.5	5.45
15	214.0	214.2	215.0	214.5	215.0	214.5	7.15
20	276.5	276.0	276.5	275.5	276.8	276.3	9.21
25	330.5	331.0	331.0	331.0	330.5	330.8	11.03

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว

จากตารางบันทึกผลการทดลอง



$$\text{Slope} = \frac{\Delta Q}{\Delta h} = 0.3912 \text{ cm}^2/\text{s}$$

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} = 1.10 \times 10^{-3} \text{ Pa·s}$$

ตัวอย่างการอภิปรายการทดลอง

การทดลองเรื่องการหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลวแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 เป็นการทดลองหาค่าความหนืดของของเหลวที่ทราบค่าความหนืดได้แก่ น้ำกลั่นและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวล โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลวเพื่อหาค่าความหนืดตามสมการของปัวเซย์ ในการทดลองนี้ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้งที่ระดับความสูง 0 - 25 เซนติเมตร และนำมาวาดกราฟโดยให้แกนตั้งเป็นอัตราการไหลและแกนนอนเป็นระดับความสูงของของเหลว หาความชันของกราฟ พบว่าน้ำกลั่นและสารสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวล กราฟที่ได้มีความชัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

0.5046 cm^2/s และ 0.3374 cm^2/s ตามลำดับ จากนั้นนำมาคำนวณหาความหนืดของของเหลวแต่ละชนิดตามสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)}$$

สำหรับน้ำกลั่นได้ค่าความหนืดเท่ากับ 0.811×10^{-3} Pa·s นำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคือ 0.801×10^{-3} Pa·s (Ligget, 1994) พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.30 ส่วนสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวลความหนืดเท่ากับ 1.438×10^{-3} Pa·s นำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคือ 1.463×10^{-3} Pa·s (Sayers, 1992) มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.73

<u>ตอนที่ 2</u> เป็นการทดลองหาค่าความหนืดของของเหลวที่ไม่ทราบค่าความหนืดได้แก่ น้ำหวานและนม ในการทดลองนี้ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้งที่ระดับความสูง 0 - 25 เซนติเมตร นำความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลวเพื่อหาค่าความหนืดตามสมการของปัวเซย์ และวาดกราฟโดยให้แกนตั้งเป็นอัตราการไหลและแกนนอนเป็นระดับความสูงของของเหลว เมื่อหาความชันกราฟของน้ำหวานและนม พบว่ากราฟมีความชัน 0.5224 cm^2/s และ 0.3912 cm^2/s ตามลำดับ หลังจากนั้นนำมาคำนวณหาความหนืดของของเหลวแต่ละชนิด สำหรับน้ำหวานได้ค่าความหนืดเท่ากับ 0.865×10^{-3} Pa·s และนมได้ค่าความหนืดเท่ากับ 1.10×10^{-3} Pa·s

ตัวอย่างการสรุปผลการทดลอง

1. ค่าความหนืดของน้ำกลั่นที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.811×10^{-3} Pa·s นำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ1.30 ส่วนค่าความหนืดของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวลที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 1.438×10^{-3} Pa·s นำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.73

2. ค่าความหนืดของน้ำหวานและนมที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.865×10^{-3} Pa·s และ 1.10×10^{-3} Pa·s ตามลำดับ

3. ค่าความหนืดของของเหลวมีค่าคงที่ โดยระดับความสูงของของเหลวและอัตราการไหลมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นเป็นไปตามสมการของปัวเซย์

ภาคผนวก ง

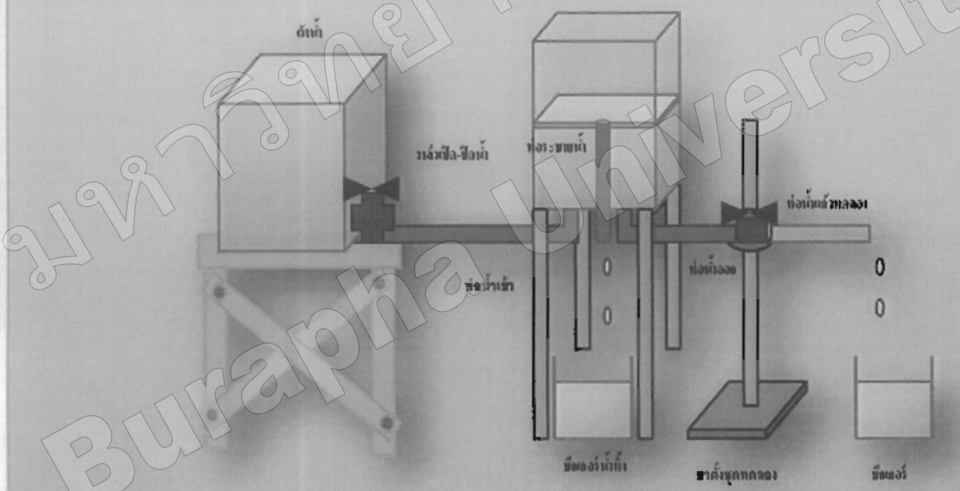
คู่มือปฏิบัติการ

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

คู่มือปฏิบัติการ

วิชาฟิสิกส์ 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

เรื่อง การหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว



กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 6

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

คำนำ

คู่มือปฏิบัติการ เรื่อง การหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว ใช้สำหรับปฏิบัติการทดลองวิชาฟิสิกส์ 3 ในบทเรียนเรื่อง ของไหล ตามหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ฉะเชิงเทรา ตามแนวทางการบริหารจัดการหลักสูตร ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน ผู้จัดทำจึงได้เรียบเรียงคู่มือชุดนี้ขึ้นซึ่งประกอบด้วยข้อแนะนำการใช้คู่มือปฏิบัติการ ใบความรู้และใบงานการทดลอง สำหรับนักเรียนไปใช้เป็นแนวทางในการทดลองตามวัตถุประสงค์ของการจัดการเรียนรู้

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือปฏิบัติการชุดนี้จะเป็นประโยชน์และอำนวยความสะดวกต่อนักเรียนในการปฏิบัติการทดลองเรื่องการหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลวได้เป็นอย่างดี

มุกดา เข็มมุข

ผู้จัดทำ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ

	หน้า
ข้อแนะนำในการใช้คู่มือปฏิบัติการ	1
ใบความรู้	2
ใบงานการทดลอง	10
- หลักการและเหตุผล	10
- วัตถุประสงค์	10
- ผลที่คาดว่าจะได้รับ	10
- ทฤษฎี	11
- อุปกรณ์การทดลอง	12
- วิธีการทดลอง	12
- การบันทึกผลและการจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง	16
- คำถามนำสู่การอภิปรายและสรุปผลการทดลอง	21
- อภิปรายผลการทดลอง	22
- สรุปผลการทดลอง	22

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อแนะนำในการใช้คู่มือปฏิบัติการ

คู่มือปฏิบัติการสำหรับครูประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ใบความรู้
2. ใบงานการทดลอง

สื่อการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย

1. คู่มือปฏิบัติการ
2. ชุดทดลองหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว

กระบวนการจัดการเรียนรู้

1. การบรรยายและการอภิปราย
2. การสาธิต
3. การทดลอง

การดำเนินการจัดการเรียนรู้

1. นักเรียนต้องมีความสนใจในเนื้อหาที่ครูผู้สอนบรรยายและสาธิตการใช้ชุดทดลอง
2. นักเรียนต้องปฏิบัติตามระเบียบของห้องปฏิบัติการของโรงเรียนอย่างเคร่งครัด
3. นักเรียนต้องใช้ชุดทดลองอย่างระมัดระวังและคำนึงถึงความปลอดภัยของตนเองและผู้อื่น
4. นักเรียนต้องเขียนรายงานการทดลองส่งครูผู้สอนภายใน 1 สัปดาห์หลังจากที่ทำการทดลอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ใบความรู้

วิชาฟิสิกส์ 3 รหัสวิชา ว 32202

เรื่อง การหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว

ความหนืด (Viscosity) คือสมบัติของของไหลที่ใช้ต้านต่อความเค้นเฉือนและเป็นแรงต้านทานต่อแรงเฉือน ความหนืดเป็นผลมาจากเมื่อของไหลมีการเคลื่อนที่ ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและมีการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างโมเลกุลของของไหล

แรงต้านการเคลื่อนที่ของของไหลมีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของของไหลเรียกว่า **แรงหนืด**

ความหนืดมีความสำคัญต่อการไหลของของไหลในท่อเช่น การไหลของเลือดในเส้นเลือด การหล่อลื่นของเครื่องยนต์บางส่วน เป็นต้น ของไหลที่มีค่าความหนืดมากก็จะเคลื่อนที่ตามแรงเฉือนได้น้อยกว่าของไหลที่มีค่าความหนืดน้อยกว่า เปรียบเสมือนกับว่าของไหลที่มีค่าความหนืดมากจะต้านการเคลื่อนที่ตามแรงเฉือนได้ดีกว่า จากสมการความหนืดของนิวตัน เมื่อกำหนดให้ η แทนค่า**สัมประสิทธิ์ความหนืด** หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า **ความหนืดสัมบูรณ์** (absolute viscosity) หรือ**ความหนืดพลวัต** (dynamic viscosity)

บางครั้งในการคำนวณมีการใช้ค่าความหนืดที่หารด้วยความหนาแน่น เรียกว่า **ความหนืดเชิงจลน์** (kinematic viscosity) แทนด้วย ν หากของไหลที่มีค่าความหนืดพลวัตคงที่ จะเรียกของไหลนั้นว่าเป็นของไหลนิวโตเนียน (Newtonian fluid) หากมีค่าไม่คงที่ จะเรียกว่าของไหลนอนนิวโตเนียน (Non-Newtonian fluid) และถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์จะเรียกว่าของไหลอุดมคติ (Ideal fluid)

เมื่อของไหลเคลื่อนที่จะเกิดความเค้นเฉือน (τ) ขนาดของความเค้นเฉือนขึ้นกับความหนืดของของไหล ซึ่งคือแรงที่ต้องการให้ชั้นของพื้นที่ของไหลหนึ่งหน่วยเลื่อนไปบนของไหลอีกชั้นหนึ่ง ความเค้นเฉือนคือ แรงหารด้วยพื้นที่ที่ขนานไปกับการไหลมีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตรหรือปอนด์ต่อตารางฟุต ขนาดของความเค้นเฉือนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของความเร็วระหว่างตำแหน่งในของไหล ความสัมพันธ์ของความหนืดและความเค้นเฉือนพิจารณาของไหลที่อยู่ระหว่างแผ่นแบนราบสองแผ่นซึ่งอยู่ห่างกันไม่มากนักให้แผ่นแบนราบด้านล่างอยู่กับที่และดึงแผ่นราบด้านบนด้วยความเร็ว v ให้เคลื่อนที่ไปทางด้านขวาเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานเนื่องจากความหนืดทำให้เกิดการไหลของของเหลวเป็นชั้น ๆ ลดหลั่นลงมาจากแผ่นบนจนกระทั่ง

ของไหลหยุดนิ่งที่แผ่นล่าง โดยความเร็วเป็นศูนย์ที่แผ่นล่าง ($y=0$) ไปยังความเร็วของแผ่นราบด้านบนเท่ากับ v ($y=y$) เขียนสมการของความเค้นเฉือนของของไหลนิวโตเนียนได้เป็น

$$\tau = \frac{\eta dv}{dy}$$

สมการการไหลของของไหลนิวโตเนียนเรียกว่า กฎความหนืดของนิวตัน (Newton's law of viscosity) หน่วยของความหนืดได้จากการแทนค่าหน่วยของความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนดังสมการ

$$\eta = \frac{\tau}{dv/dy} = \frac{N}{m^2} \cdot \frac{m}{m/s} = Pa \cdot s$$

ตารางที่ 1 หน่วยของความหนืด (ผ่องศรี ศิวราศักดิ์, 2551, หน้า 11)

หน่วยระบบ	หน่วยของความหนืดไดนามิก	หน่วยของความหนืดจลน์
สากล	$N \cdot s/m^2$, Pa·s, kg/m·s	m^2/s
อเมริกัน	$Lb \cdot s/ft^2$, slug/ft·s	ft^2/s
ซีจีเอส	poise = $dyne \cdot s/cm^2$ = g/cm·s = 0.1 Pa·s	stoke = $cm^2/s = 1\times10^{-4}\ m^2/s$
	centipoises = poise/100	centistokes = stoke/100
	centipoises =0.001 Pa·s =1.0 m Pa·s	centistokes =$1\times10^{-6}\ m^2/s$ = 1m m^2/s

ความหนืดของของไหลแปรผันกับอุณหภูมิ ซึ่งขึ้นกับว่าของไหลนั้นเป็นของเหลวหรือก๊าซ โดยความหนืดของของเหลวจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังสมการประมาณค่าความหนืดซึ่งเป็นฟังก์ชั่นกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ คือ

$$ln\ \eta = a + b\ ln\ T \quad หรือ \quad \eta = e^{a+b\ ln\ T}$$

สำหรับค่าคงที่ a และ b ของของเหลวบางชนิดที่อุณหภูมิ K หรือ R โดยหน่วยของความหนืดคือ เซ็นติพอยส์ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ของความหนืดสำหรับของเหลว (ผ่องศรี ศิวราศักดิ์, 2551, หน้า 11)

ของเหลว	T (K)		T (°R)	
	a	b	a	b
อะซีโตน	14.64	-2.77	16.29	2.77
เบนซีน	21.99	-3.95	24.34	-3.95
น้ำมันดิบ 35°API	53.73	-9.01	59.09	-9.01
เอทานอล	31.63	-5.53	34.93	-5.53
กลีเซอรอล	106.76	-17.60	117.22	-17.60
น้ำมันก๊าด	33.41	-5.72	36.82	-5.72
เมทานอล	22.18	-3.99	24.56	-3.99
ออกเทน	17.86	-3.25	19.80	-3.25
เพนเทน	13.46	-2.62	15.02	-2.62
น้ำ	29.76	-5.24	32.88	-5.24

ความหนืดของของเหลวแปรผกผันกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนืดของของเหลวจะมีค่าลดลง ตัวอย่างความหนาแน่นและความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังตารางที่ 3

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นและความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (Ligget, 1994)

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ความหนืด ($N \cdot s/m^2 \times 10^{-3}$)
0	999.8	1.80
5	1000.0	1.52
10	999.7	1.31
15	999.2	1.15
20	998.3	1.00
25	997.1	0.897
30	995.7	0.801
40	992.3	0.659
50	988.0	0.544
60	983.2	0.470
70	977.7	0.405
80	971.6	0.356
90	965.1	0.318
100	958.1	0.284

การวัดความหนืด

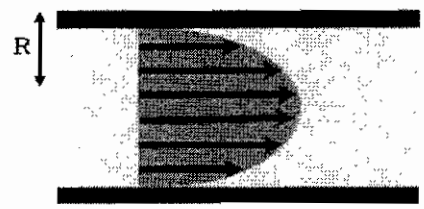
การวัดความหนืดโดยใช้เครื่องมือวัดความหนืดของของเหลว เรียกว่า มาตรความหนืด (Viscometer) ขณะทำการวัดความหนืดภายในมาตรวัดจะบรรจุของเหลวที่ต้องการวัดและทำให้ของเหลวนั้นเคลื่อนที่หรือไหลแบบราบเรียบโดยการทำให้ของเหลวนั้นมีความแตกต่างของความดัน หรืออาจจะหมุนมาตรวัดทำให้ของเหลวดังกล่าวเกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากความหนืดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นระหว่างทำการวัดจะต้องควบคุมอุณหภูมิของของเหลวให้มีค่าคงตัว

มาตรความหนืดจำแนกออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ มาตรวัดความหนืดเซย์โบลต์ มาตรความหนืดชนิดถ้วยหมุน มาตรความหนืดชนิดอาศัยการตกของลูกกลมเหล็กและท่อวัดความหนืด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

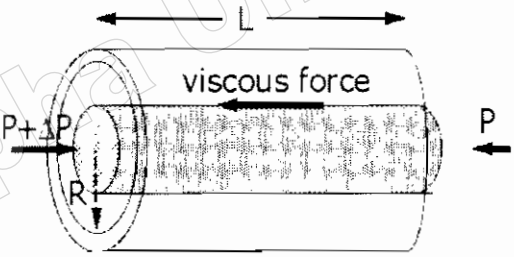
ท่อวัดความหนืด

การวัดความหนืดขณะของเหลวไหลผ่านท่อแบบราบเรียบจากการไหลแบบราบเรียบเต็มท่อสำหรับของไหลนิวโทเนียนการกระจายความเร็วจะอยู่ในรูปพาราโบลา ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ของไหลที่มีความหนืดไหลในท่อทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่

การหาค่าความหนืดของของเหลวจากการวัดอัตราการไหล จะพิจารณาการไหลของของเหลวผ่านท่อกลม ซึ่งเป็นการไหลอย่างสม่ำเสมอสำหรับอัตราการไหลในท่อเป็นวงแหวนที่มีรัศมีภายใน r และรัศมีภายนอก R มีความยาว L ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การไหลของของเหลวผ่านท่อกลม

อัตราการไหลของของเหลวในท่อทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ เมื่อ ΔP คือผลต่างความดันที่ปลายทั้งสองข้างของท่อ สามารถหาแรงดันได้จากสมการ

$$F_{pressure} = \Delta P\left(\pi r^2\right)$$

แรงหนืด เป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ของของไหล มีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่และขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของของเหลว พบว่า

$$F_{viscosity} = -\eta(2\pi rL)\frac{dv}{dr}$$

ผลรวมของแรงลัพธ์มีค่าเป็นศูนย์

$$F_{pressure} + F_{viscosity} = 0$$

$$\Delta P(\pi r^2) = \eta(2\pi rL)\frac{dv}{dr}$$

$$\frac{dv}{dr} = \frac{\Delta P(\pi r^2)}{\eta(2\pi rL)}$$

ดังนั้น

$$\frac{dv}{dr} = \left(\frac{\Delta P}{2\eta L}\right)\cdot r \qquad (1)$$

พิจารณาอัตราการไหลของของเหลวในท่อทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ ดังภาพที่ 1 การไหลภายในท่อเป็นแบบ Laminar flow และของไหลมีความหนืดค่าหนึ่ง พบว่าอัตราเร็วของการไหลมีค่ามากที่สุดที่ตรงกลางท่อและอัตราเร็วเป็นศูนย์ที่ผนังท่อ จากสมการที่ (1) การเปลี่ยนแปลงความเร็วเทียบกับรัศมีภายในท่อเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบลดลงจะได้ว่า

$$\frac{dv}{dr} = \left(\frac{\Delta P}{2\eta L}\right)\cdot r \qquad (2)$$

เมื่อพิจารณาวงแหวนเล็ก ๆ ที่มีรัศมีภายใน r รัศมีภายนอก R จากสมการที่ (2) จะได้ว่า

$$\int_{v}^{0} dv = \left(\frac{\Delta P}{2\eta L}\right)\cdot\int_{r}^{R} r\,dr$$

$$v(r) = \left(\frac{\Delta P}{4\eta L}\right)\left[R^2 - r^2\right] \qquad (3)$$

และพบว่าอัตราการไหลของของเหลวผ่านวงแหวนนี้มีค่าเป็น $v\cdot dA$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$\frac{dV}{dt} = \int v \cdot dA \tag{4}$$

แทนค่า $v(r)$ จากสมการ (3) ลงในสมการ (4) และหาอัตราการไหลรวมจากการอินทิเกรตค่านี้จาก $r = 0$ ไปยัง $r = R$ จะได้ว่า

$$\frac{dV}{dt} = \int v \cdot dA$$
$$\frac{dV}{dt} = \int_0^R \left(\frac{\Delta P}{4\eta L}\right)\left[R^2 - r^2\right] \cdot (2\pi r dr)$$
$$\frac{dV}{dt} = \left(\frac{\pi \cdot \Delta P}{2\eta L}\right)\int_0^R \left(R^2 r - r^3\right) dr$$
$$\frac{dV}{dt} = \left(\frac{\pi \cdot \Delta P}{2\eta L}\right)\left[\frac{R^4}{2} - \frac{R^4}{4}\right]$$

จะได้สมการของปัวเซย์ (Poiseuille's equation)

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot R^4}{8\eta L} \tag{5}$$

เมื่อให้ Q เป็นปริมาตรของของเหลว V ในหน่วยลูกบาศก์เมตร ที่ไหลผ่านท่อในเวลา t ในหน่วยวินาที เรียกว่า อัตราการไหล กำหนดให้ η คือ ค่าความหนืดของของเหลวในหน่วยนิวตันวินาทีต่อตารางเมตร ความดันเกจที่กระทำต่อของเหลวในท่อจะสัมพันธ์กับระดับความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ h สมการ (5) เขียนใหม่ได้เป็น

$$Q = \frac{\pi \rho g h R^4}{8\eta L} \tag{6}$$

ดังนั้นค่าความหนืดของของเหลวหาได้จาก

$$\eta = \frac{\pi \rho g h R^4}{8QL} \tag{7}$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อ η คือ ค่าความหนืด (kg/m·s หรือ Pa·s)

Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

h คือ ความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ (m)

R คือ รัศมีท่อ (m)

L คือ ความยาวท่อ (m)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ h และอัตราการไหล Q มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงโดยรัศมี R และความยาวของท่อ L คงที่ให้แกนนอนคือระดับความสูงที่ต่าง ๆ แกนตั้งคืออัตราการไหล จะได้ว่า

$$Slope = \frac{\Delta Q}{\Delta h} \tag{8}$$

ดังนั้นจากสมการที่ (7) สามารถหาค่าความหนืดของของเหลวได้ด้วยสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} \tag{9}$$

เอกสารอ้างอิง

ผ่องศรี ศิวราศักดิ์. (2551). *กลศาสตร์ของไหลประยุกต์*. กรุงเทพฯ : ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น.

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (ม.ป.ป.). ปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป ๑. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มนตรี พิรุณเกษตร. (2549). *กลศาสตร์ของไหล*. กรุงเทพฯ : วิทยพัฒน์.

วิโรจน์ ลิ่มตระการ. (2552). *กลศาสตร์ของไหล*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2549). *หนังสือสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม ๒*. กรุงเทพฯ : คุรุสภาลาดพร้าว.

Ligget, Jame A. (1994). *Fluid mechanics*. New York : McGraw-Hill Book.

Sayers,A.T. (1992). *Fluid mechanics : an introduction*. Cape Town : Oxford University Press.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ใบงานการทดลอง

วิชาฟิสิกส์ 3 รหัสวิชา ว 32202

เรื่อง การหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว

ชุดทดลองนี้ใช้เพื่อทดลองหาความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลวโดยแบ่งเป็น 2 ตอนดังนี้

1. การหาความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลวที่ทราบค่าความหนืดได้แก่ น้ำกลั่นและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวล

2. การหาความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลวที่ไม่ทราบค่าความหนืดได้แก่ น้ำหวานและนม

หลักการและเหตุผล

ความหนืดเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของของเหลว ของเหลวที่มีความหนืดมากจะมีแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวนั้นมาก แรงต้านการเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากความหนืดของของเหลว เรียกว่า แรงหนืด สำหรับอัตราการไหลของของเหลวจะพิจารณาจากปริมาตรของของเหลวที่ไหลผ่านท่อต่อหนึ่งหน่วยเวลา การทดลองหาความหนืดของของเหลวจากการวัดอัตราการไหลจะช่วยให้ผู้เรียนได้ค้นพบคำตอบด้วยตนเอง และมีประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้ เป็นการสนับสนุนให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากสื่อที่เป็นรูปธรรมนำไปสู่ความเข้าใจในหลักการมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว

2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงและอัตราการไหลของของเหลวที่มีค่าความหนืดคงที่

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลวได้

2. สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงและอัตราการไหลของของเหลวที่มีค่าความหนืดคงที่

ทฤษฎี

ความหนืด (Viscosity) คือสมบัติของของไหลที่ใช้ต้านต่อความเค้นเฉือนและเป็นแรงต้านทานต่อแรงเฉือน ความหนืดเป็นผลมาจากเมื่อของไหลมีการเคลื่อนที่ ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและมีการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างโมเลกุลของของไหล

ท่อวัดความหนืด การหาค่าความหนืดของของเหลวจากการวัดอัตราการไหลผ่านท่อซึ่งเป็นการไหลอย่างสม่ำเสมอ สามารถหาได้จากสมการของปัวเซย์ (Poiseuille's equation)

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot R^4}{8\eta L} \tag{1}$$

เมื่อให้ Q เป็นปริมาตรของของเหลว V ในหน่วยลูกบาศก์เมตร ที่ไหลผ่านท่อในเวลา t ในหน่วยวินาที และให้ η คือ ค่าความหนืดของของเหลวในหน่วย นิวตันวินาทีต่อตารางเมตร ความดันเกจ ที่กระทำต่อของเหลวในท่อจะสัมพันธ์กับระดับความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ h สมการที่ (1) เขียนใหม่ได้เป็น

$$Q = \frac{\pi \rho g h R^4}{8\eta L} \tag{2}$$

ดังนั้นค่าความหนืดของของเหลวหาได้จาก

$$\eta = \frac{\pi \rho g h R^4}{8QL} \tag{3}$$

เมื่อ η คือ ค่าความหนืด (kg/m·s หรือ Pa·s)

Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

h คือ ความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ (m)

R คือ รัศมีท่อ (m)

L คือ ความยาวท่อ (m)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของผิวหน้าของเหลวที่สูงจากระดับท่อ h และอัตราการไหล Q มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงโดยรัศมี R และความยาวของท่อ L คงที่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ให้แกนนอนคือระดับความสูงที่ต่าง ๆ แกนตั้งคืออัตราการไหล จะได้ว่า

$$Slope = \frac{\Delta Q}{\Delta h} \tag{4}$$

ดังนั้นจากสมการที่ (3) สามารถหาค่าความหนืดของของเหลวได้ดังสมการที่ (5)

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} \tag{5}$$

และหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (%Error) ดังสมการที่ (6)

$$\text{ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{\left|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}\right|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100\% \tag{6}$$

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดทดลองหาค่าความหนืดจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว
2. อุปกรณ์ประกอบชุดทดลอง ได้แก่ นาฬิกาจับเวลา กระบอกตวง
3. หลอดแก้วทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4 มิลลิเมตรความยาว 75 เซนติเมตร
4. เครื่องคิดเลขดิจิตอลแบบวิทยาศาสตร์
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. น้ำกลั่น
7. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวล
8. น้ำหวาน
9. นม

วิธีการทดลอง

<u>ตอนที่ 1</u> การหาค่าความหนืดของของเหลวที่ทราบค่าความหนืดได้แก่ น้ำกลั่นและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวล

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1. จัดชุดทดลองตามภาพที่ 3 จัดหลอดแก้วให้อยู่ในแนวระดับ ใช้น้ำกลั่นเป็นของเหลวในการทดลอง เปิดวาล์ว 1ให้ของเหลวไหลเข้าสู่ถัง ให้ระดับของเหลวในถังคงที่ของเหลวส่วนที่เกินจะล้นและไหลออกทางท่อระบายน้ำล้นออกไป

2. เมื่อระดับของเหลวคงที่วัดความสูง (h) ของระดับของเหลวในถังจนถึงหลอดแก้วแก้ว 5 เซนติเมตร และวัดความยาวของหลอดแก้ว (L) บันทึกค่าไว้

ภาพที่ 3 การจัดชุดทดลอง

3. เปิดวาล์ว 2 ให้ของเหลวไหลผ่านหลอดแก้ว นำบีกเกอร์รองของเหลวที่ไหลออกมา โดยเริ่มจับเวลาขณะตั้งแต่ขณะเปิดวาล์ว 30 วินาทีแล้วปิด ตวงปริมาตรของของเหลวด้วยกระบอกตวง บันทึกปริมาตรลงในตารางบันทึกผล ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง คำนวณหาปริมาตรเฉลี่ย (ดูภาพที่ 4)

ภาพที่ 4 ของเหลวขณะไหลผ่านหลอดแก้ว

4. คำนวณอัตราการไหลของของเหลว Q จากอัตราส่วนระหว่างปริมาตรเฉลี่ยของของเหลวต่อหนึ่งหน่วยเวลา

5. เพิ่มความสูงของระดับของเหลวในถังจนถึงหลอดแก้วเป็น 10 15 20 และ 25 เซนติเมตรตามลำดับ ทดลองและบันทึกผลลงในตาราง ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

6. เปลี่ยนของเหลวเป็นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวล แล้วทดลองตามข้อ 1-5

7. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว โดยให้แกนตั้งเป็นอัตราการไหลและแกนนอนเป็นระดับความสูงของของเหลว แล้วทำการเฉลี่ยให้กราฟเป็นเส้นตรง (อาจวาดกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel)

8. เลือกจุดบนกราฟที่ได้จากการทดลองสองจุดแล้วคำนวณหาค่าความชันของกราฟ (อาจใช้ความชันของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + C$)

9. นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการที่ (5)

10. เปรียบเทียบค่าความหนืดของของเหลวที่ได้จากการทดลองกับทฤษฎีแล้วหาร้อยละความคลาดเคลื่อนจากการทดลองตามสมการที่ (6)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

11. ทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

<u>ตอนที่ 2</u> การหาค่าความหนืดของของเหลวที่ไม่ทราบค่าจากการวัดอัตราการไหลของของเหลว 2 ชนิด ได้แก่ น้ำหวานและนม โดยใช้น้ำหวานสีแดงตราเฮลซ์บลูบอยผสมน้ำอัตราส่วน 1: 3 โดยปริมาตรและใช้นมสดรสหวานพาสเจอร์ไรซ์ตราเมจิ

1. จัดชุดทดลองตามภาพที่ 3 จัดหลอดแก้วให้อยู่ในแนวระดับ ใช้น้ำหวานเป็นของเหลวในการทดลอง เปิดวาล์ว 1 ให้ของเหลวไหลเข้าสู่ถัง ให้ระดับของเหลวในถังคงที่ ของเหลวส่วนที่เกินจะล้นและไหลออกทางท่อระบายน้ำล้นทิ้งออกไป

2. เมื่อระดับของเหลวคงที่วัดความสูง (h) ของระดับของเหลวในถังน้ำจนถึงหลอดแก้ว 5 เซนติเมตรและวัดความยาวของท่อ (L) บันทึกค่าไว้

3. เปิดวาล์ว 2 ให้ของเหลวไหลผ่านหลอดแก้ว นำบีกเกอร์รองของเหลวที่ไหลออกมา โดยเริ่มจับเวลาขณะตั้งแต่ขณะเปิดวาล์ว 30 วินาทีแล้วปิดวาล์ว ตวงปริมาตรของของเหลวด้วยกระบอกตวง บันทึกลงในตารางบันทึกผลการทดลอง ทดลองซ้ำ 5 ครั้งคำนวณหาปริมาตรเฉลี่ย

4. คำนวณอัตราการไหลของของเหลว Q จากอัตราส่วนระหว่างปริมาตรเฉลี่ยของของเหลวต่อหนึ่งหน่วยเวลา

5. เพิ่มความสูงของระดับของเหลวในถังจนถึงหลอดแก้วเป็น 10 15 20 และ 25 เซนติเมตรตามลำดับ บันทึกผลการทดลองลงในตาราง ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

6. เปลี่ยนของเหลวเป็นนม แล้วทำการทดลองตามข้อ 1-5

7. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว โดยให้แกนตั้งเป็นอัตราการไหลและแกนนอนเป็นระดับความสูงของของเหลว แล้วทำการเฉลี่ยให้กราฟเป็นเส้นตรง (อาจวาดกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel)

8. เลือกจุดบนกราฟที่ได้จากการทดลองสองจุดแล้วคำนวณหาค่าความชันของกราฟ (อาจใช้ความชันของกราฟจากสมการที่ได้จากกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel ตามรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + C$)

9. นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการที่ (5)

10. ทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

การบันทึกผลการทดลองและการจัดกระทำข้อมูลจากการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาค่าความหนืดของของเหลวที่ทราบค่าความหนืดได้แก่ น้ำกลั่น สารละลายโซเดียม คลอไรด์ความเข้มข้น 25 %โดยมวล

1. น้ำกลั่น

อุณหภูมิ T = ... °C

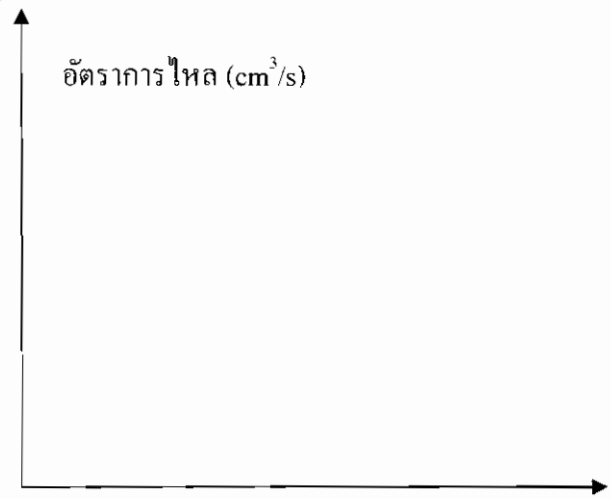
ความหนาแน่นของของเหลว ρ =.....kg/m^3

ขนาดรัศมีท่อ R = ... mm

ความยาวท่อ L = ... cm

ความสูงของของเหลว (cm)	ปริมาตร (cm^3) เมื่อเวลา 30 วินาที						อัตราการไหล (cm^3/s)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว จากตารางบันทึกผลการทดลอง



มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Slope = _____ = _____ cm^2/s

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} = _____ \text{ Pa·s}$$

คำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อน (% error) จากการทดลอง

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100$$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ _____

2. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25 % โดยมวล

อุณหภูมิ T = ...°C

ความหนาแน่นของของเหลว ρ =.....kg/m^3

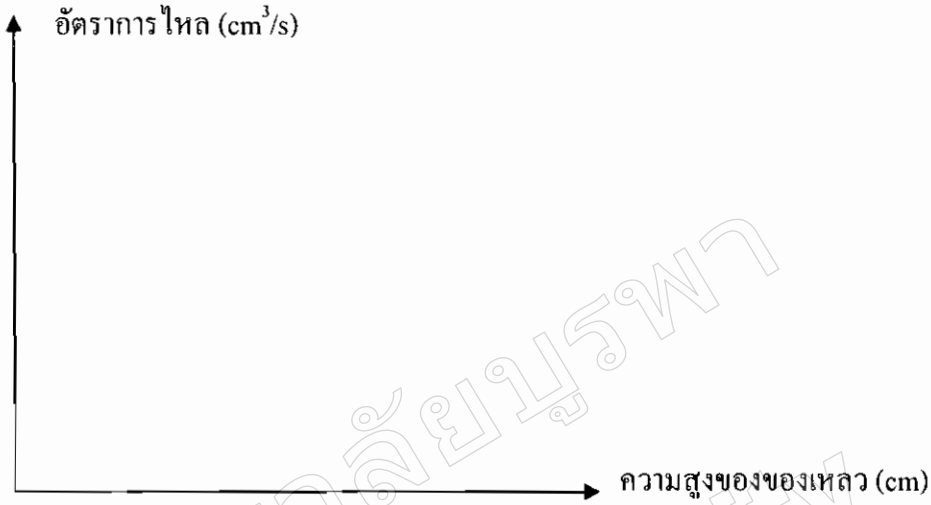
ขนาดรัศมีท่อ R = ... mm

ความยาวท่อ L = ... cm

ความสูงของของเหลว (cm)	ปริมาตร (cm^3) เมื่อเวลา 30 วินาที						อัตราการไหล (cm^3/s)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	

<u>กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว</u>

<u>จากตารางบันทึกผลการทดลอง</u>



Slope =_____ = _____ cm^2/s

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} = _____ \text{ Pa·s}$$

คำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อน (% error) จากการทดลอง

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่ามาตรฐาน}|}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100$$

การทดลองครั้งนี้มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ _____

ตอนที่ 2 การหาค่าความหนืดของของเหลวที่ไม่ทราบค่าความหนืดได้แก่ น้ำหวานและนม

1. น้ำหวาน

อุณหภูมิ T = ...°C

ความหนาแน่นของของเหลว ρ=.....kg/m^3

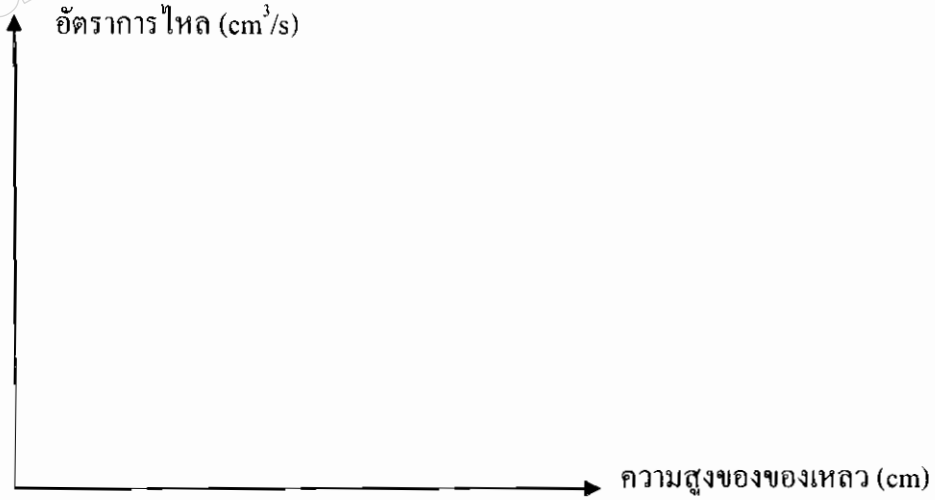
ขนาดรัศมีท่อ R = ... mm

ความยาวท่อ L = ... cm

ความสูงของของเหลว (cm)	ปริมาตร (cm^3) เมื่อเวลา 30 วินาที						อัตราการไหล (cm^3/s)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว

จากตารางบันทึกผลการทดลอง



Slope = _____ = _____ cm^2/s

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} = _____ \text{ Pa·s}$$

2. นม

อุณหภูมิ T = ……°C

ความหนาแน่นของของเหลว ρ =……kg/m^3

ขนาดรัศมีท่อ R = …… mm

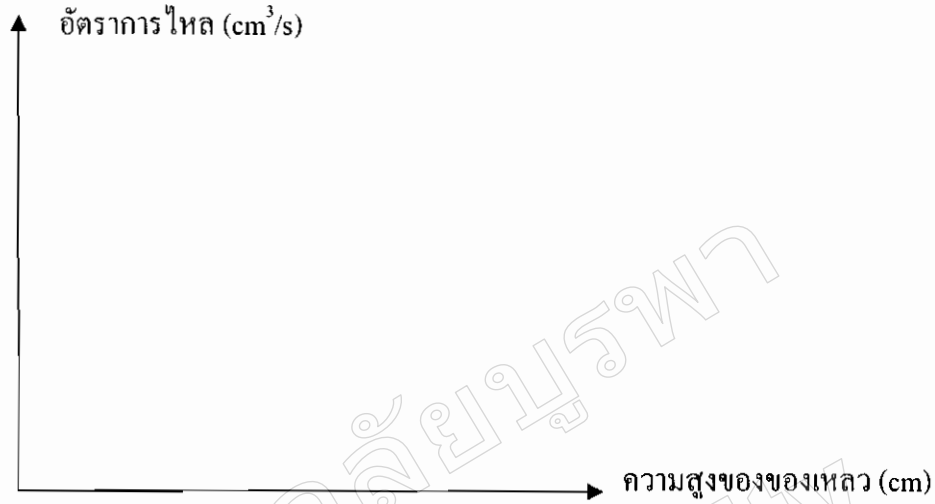
ความยาวท่อ L = …… cm

ความสูงของของเหลว (cm)	ปริมาตร (cm^3) เมื่อเวลา 30 วินาที						อัตราการไหล (cm^3/s)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
5							
10							
15							
20							
25							

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

<u>กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับความสูงของของเหลว</u>

<u>จากตารางบันทึกผลการทดลอง</u>



Slope = _____ = _____ cm^2/s

นำความชันของกราฟที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดของของเหลวตามสมการ

$$\eta = \frac{\pi \rho g R^4}{8L(slope)} = _____ \text{ Pa·s}$$

คำถามนำสู่การอภิปรายและสรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับความสูงของของเหลวมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร

2. ค่าความหนืดของของเหลวที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐานมีความคลาดเคลื่อนอย่างไรและถือว่าเป็นผลการทดลองที่ใช้ได้หรือไม่

3. ผลการทดลองที่ได้มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับทฤษฎีหรือไม่ อย่างไร

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การอภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University