



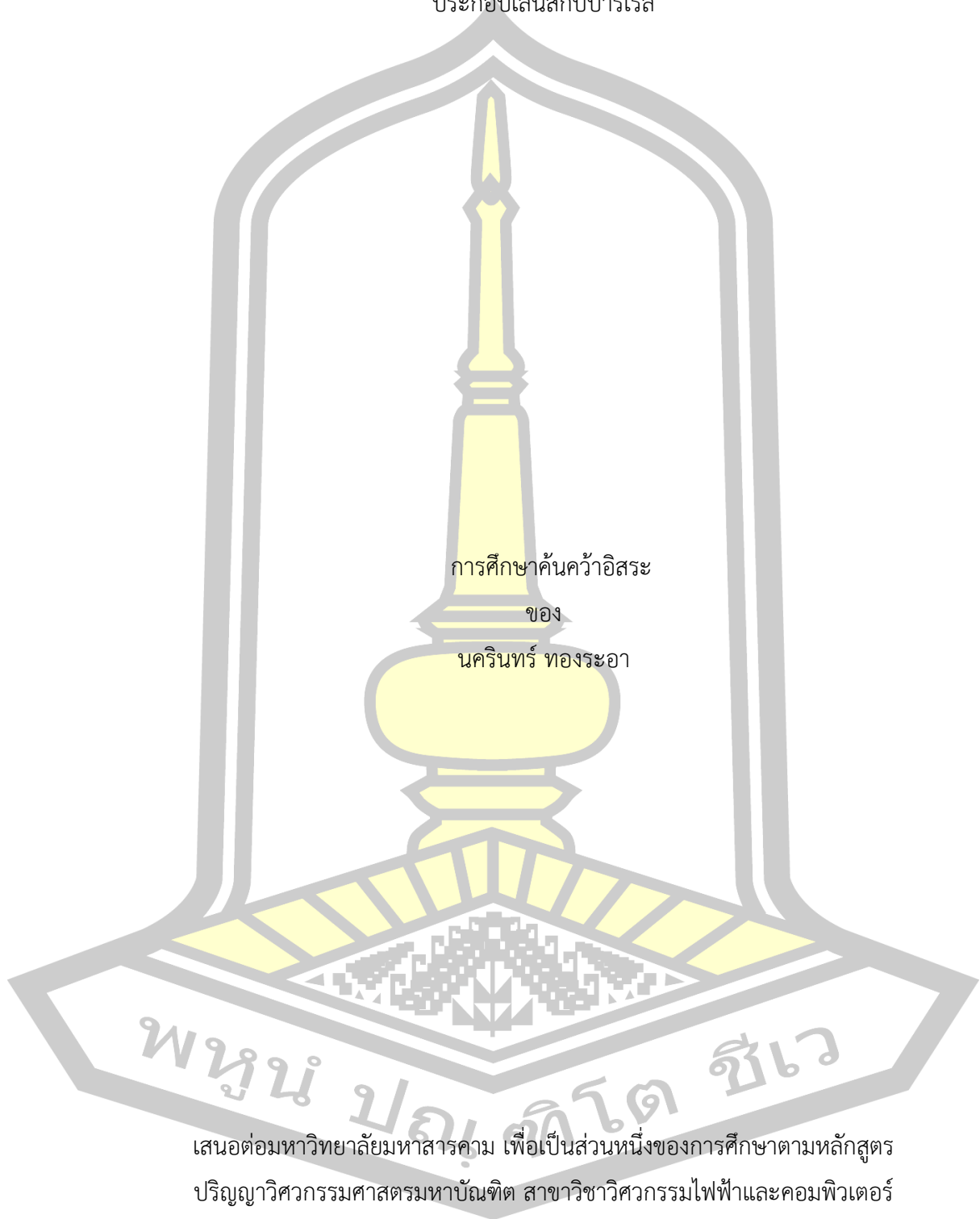
การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดความหนืดของกาเรซินอะคริลิกที่ป่นด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการ
ประกอบเลนส์กับบาร์เรล

การศึกษาค้นคว้าอิสระ
ของ
นครินทร์ ทองระอา

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
กุมภาพันธ์ 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดความหนืดของกาเรซินอะคริลิกที่ป่นด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการ
ประกอบเลนส์กับบาร์เรล



การศึกษาค้นคว้าอิสระ
ของ
นครินทร์ ทองระอา

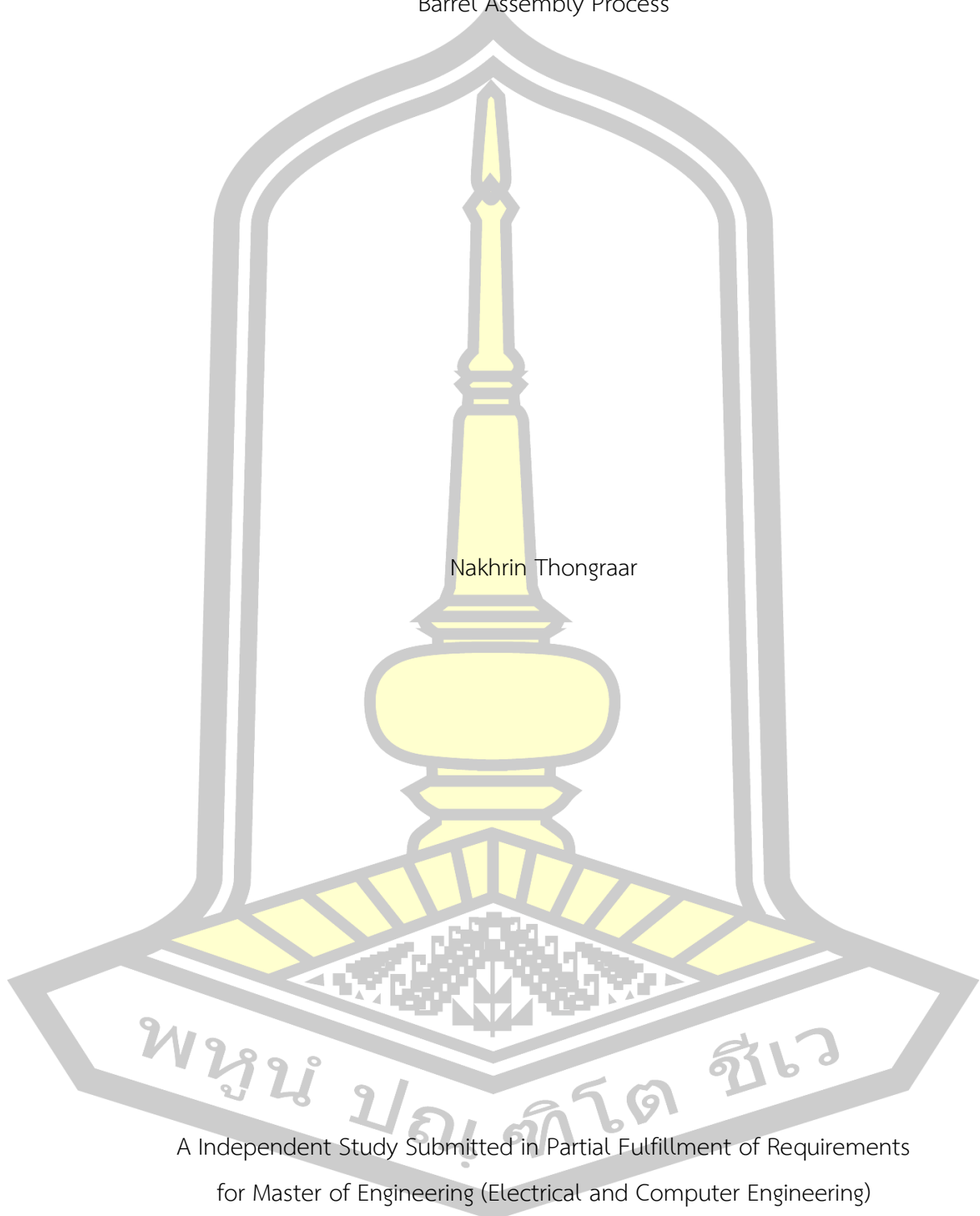
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

กุมภาพันธ์ 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Development of UV Cured Acrylic Resin Glue Viscosity Measuring Device for Lens and
Barrel Assembly Process

Nakhrin Thongraar



A Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

February 2024

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ ได้พิจารณาการศึกษาค้นคว้าอิสระของนาย
นครินทร์ ทองระอา แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ดร. จักรพันธ์ ออบมา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. นิวัตร อังควิเศษพันธุ์)

.....กรรมการ

(อ. ดร. ณัฐพล ไชยดวงศรี)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวี สำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรล		
ผู้วิจัย	นครินทร์ ทองระอา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2567

บทคัดย่อ

กาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีเป็นหนึ่งในกาวที่ใช้บ่อยที่สุดสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรลสำหรับการผลิตกล้อง กาวชนิดนี้ต้องได้รับการบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตก่อนใช้งานซึ่งอาจพบปัญหาที่เกี่ยวข้องกับความหนืดที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้เกิดการสูญเสียเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาเหล่านี้ควรมีการวัดความหนืดและควบคุมความหนืดทั้งหมดแต่ในความ เป็นจริงมีปัญหาบางอย่างเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการวัดสูง เวลาในการวัดที่ยาวนาน และวิธีการวัดที่ไม่เหมาะสม บทความนี้นำเสนอวิธีการวัดความหนืดแบบไม่สัมผัสโดยใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก HC-SR04 ที่เรียบง่ายและมีต้นทุนต่ำ ผลการทดสอบการทดลองด้วยระยะและตำแหน่งการติดตั้งที่เหมาะสมแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์อัลตราโซนิกสามารถวัดและจำแนกความหนืดของกาวที่ เหลว ค่อนข้างหนืด หนืด แข็ง ได้อย่างถูกต้องเมื่อทำการทดสอบ 30 ตัวอย่าง เทคนิคการวัดที่นำเสนอนี้ใช้เวลาการวัดสั้นโดยเฉลี่ยเพียง 5.2-8.5 วินาทีต่อการทดสอบแต่ละครั้ง ในขณะที่ต้นทุนของเซ็นเซอร์น้อยกว่า 6.39 USD และใช้พลังงานน้อยกว่า 0.075W และสามารถใช้ในการทดสอบการบ่ม กาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวี 100% สำหรับกระบวนการประกอบขนาดใหญ่

คำสำคัญ : การวัดความหนืด, กาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวี, การประกอบเลนส์กับบาร์เรล, เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก

ปณ จิต ชีวะ

TITLE	Development of UV Cured Acrylic Resin Glue Viscosity Measuring Device for Lens and Barrel Assembly Process		
AUTHOR	Nakhrin Thongraar		
ADVISORS	Associate Professor Chonlatee Photong , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Electrical and Computer Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2024

ABSTRACT

Acrylic resin glue is one of the most often used glues for the lens and barrel assembly process for camera production. This glue type must be cured by ultraviolet (UV) radiation before use which somehow encounters problems related to improper viscosity and thus leads to high waste and losses. Therefore, to prevent the problems, full viscosity measurement and control should be implemented but, in fact, has some difficulties due to high measuring cost, long measuring time and unsuitable measuring methods. This paper proposes an alternative non-destructive viscosity measurement by using a simple, low-cost HC-SR04 ultrasonic sensor. The experimental test results showed that with the suitable installation distance and position, the ultrasonic device could measure and classify the viscosity of the glue as uncured, low viscosity, good viscosity, and overcured with high accuracy when testing 20 glue samples per curing type. This proposed measurement technique spent short measuring time with only 5.2-8.5 seconds per test in average while have sensor's cost less than 6.39 USD and consume power less than 0.075W, which could possibly be used for 100% cure inspection for massive assembly production.

Keyword : Viscosity measurement, acrylic resin glue, lens and barrels assembly, ultrasonic sensor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้ เพราะได้รับคำแนะนำและความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร.ชลธิ์ โพธิ์ทอง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ประจำหลักสูตร

ขอกราบขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ และอาจารย์ประจำหลักสูตร ปร.ด.(วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์) รวมไปถึงบุคลากรและเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์และการดำเนินการด้านเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้อง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณของ คุณบิดา - มารดา ของข้าพเจ้า ที่มอบแนวทางในการดำเนินชีวิต และเป็นแรงผลักดันให้การดำเนินการต่างๆ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

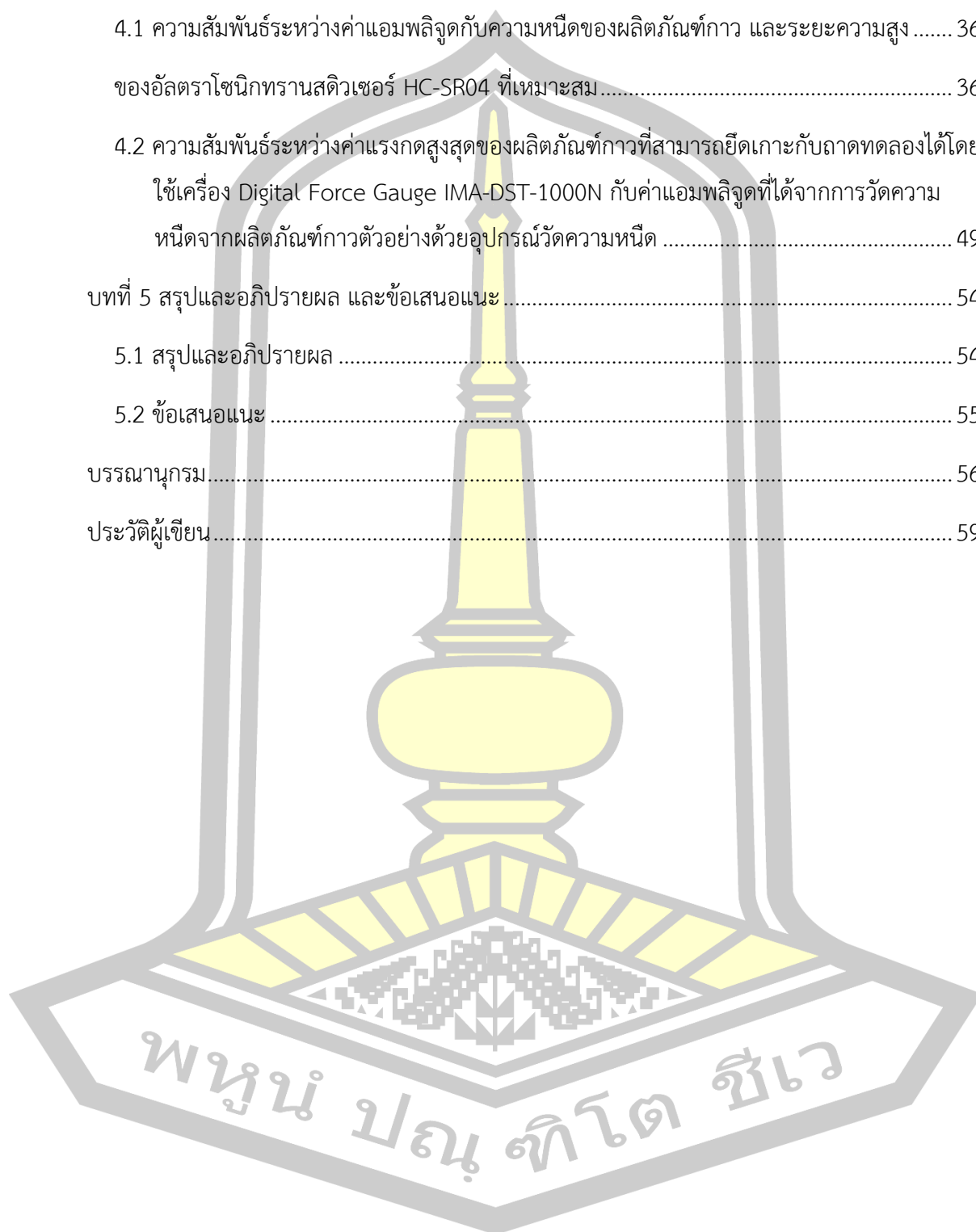
นครินทร์ ทองระอา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพประกอบ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตการวิจัย	6
1.4 กรอบการวิจัย	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.1 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์.....	17
2.2 การเปลี่ยนค่าความแรงของคลื่นสะท้อนตามความหนาแน่นของกาว.....	19
2.3 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นและโมเลกุลของกาว	20
2.4 ธรรมชาติของเสียง.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	25
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	25
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	26
3.3 วิธีการเก็บข้อมูลและการเปรียบเทียบข้อมูล.....	28

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	36
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดกับความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว และระยะความสูง	36
ของอัลตราโซนิกรานสตีวเซอร์ HC-SR04 ที่เหมาะสม	36
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาตทดลองได้โดย ใช้เครื่อง Digital Force Gauge IMA-DST-1000N กับค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดความ หนืดจากผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างด้วยอุปกรณ์วัดความหนืด	49
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	54
5.1 สรุปและอภิปรายผล	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม.....	56
ประวัติผู้เขียน.....	59



สารบัญตาราง

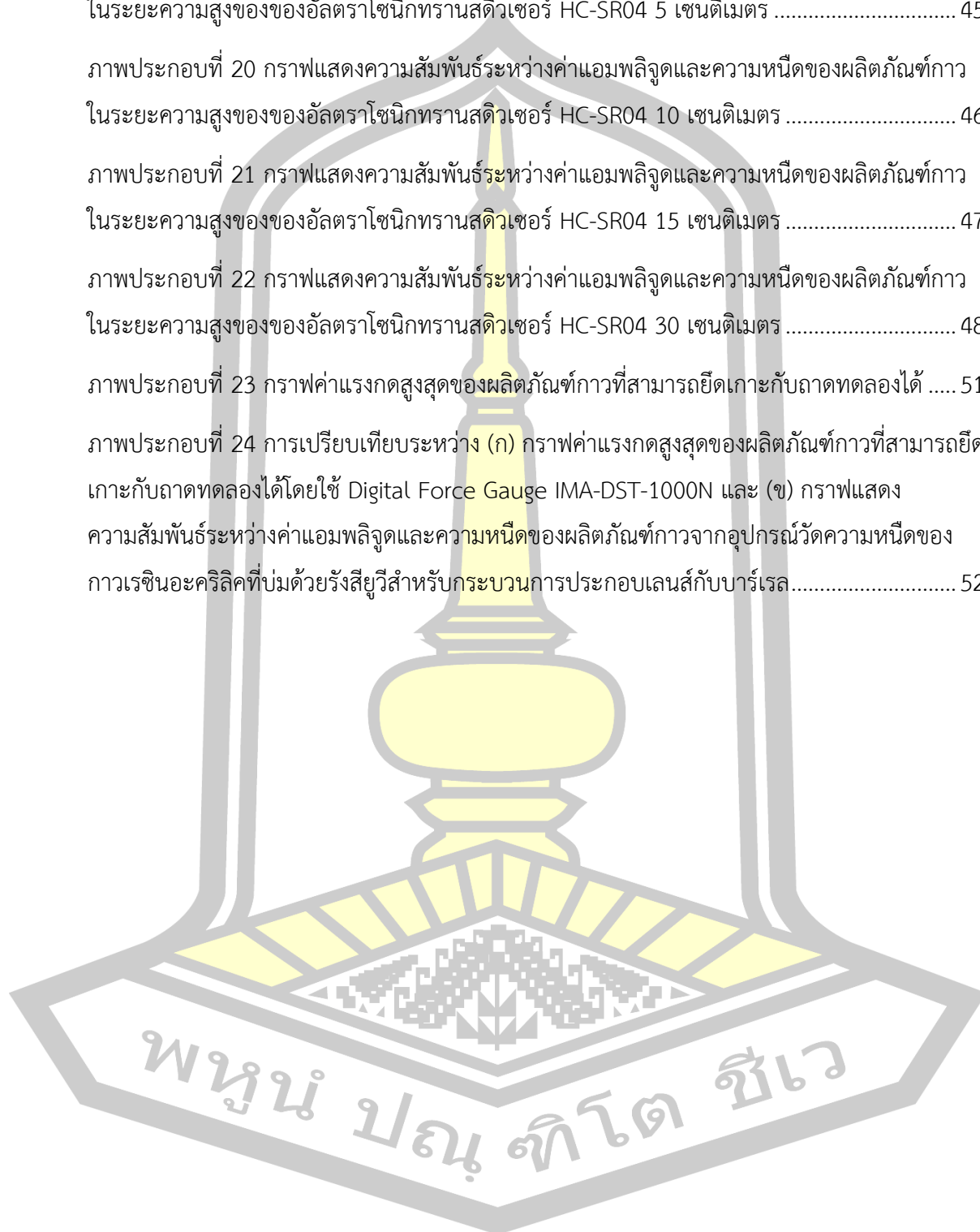
	หน้า
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบข้อมูลของเครื่องวัดความหนาประเภทต่างๆ ที่มีในท้องตลาด	2
ตารางที่ 2 ข้อมูลเปรียบเทียบอุปกรณ์อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04	4
ตารางที่ 3 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่สะท้อนจากตัวอย่างกาว	31
ตารางที่ 4 ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูลค่าทนแรงกดสูงสุดจากกาวตัวอย่างทั้ง 30 ตัวอย่าง.....	35
ตารางที่ 5 ตารางบันทึกข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่สะท้อนตัวอย่างกาว	37
ตารางที่ 6 ตารางค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาชนะทดลองได้โดยใช้เครื่อง Digital Force Gauge IMA-DST-1000N.....	50



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย	6
ภาพประกอบที่ 2 เมื่อป้อนแรงดันให้กับตัวมันจะทำให้ชิ้นสารเซรามิกโก่งงอไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิกกระจายไปในอากาศ [12].....	18
ภาพประกอบที่ 3 สัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (ก) ตัวส่ง (ข) ตัวรับ.....	19
ภาพประกอบที่ 4 รูปคลื่นแอมพลิจูด.....	20
ภาพประกอบที่ 5 กลไกการบ่มเร่งด้วยรังสี.....	21
ภาพประกอบที่ 6 มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน	23
ภาพประกอบที่ 7 การแทรกสอดของคลื่นเสียง	23
ภาพประกอบที่ 8 การหักเหของคลื่นเสียง.....	24
ภาพประกอบที่ 9 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง	24
ภาพประกอบที่ 10 กระบวนการของอุปกรณ์วัดความหนืดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก	25
ภาพประกอบที่ 11 ขั้นตอนการทำวิจัย	26
ภาพประกอบที่ 12 Function Signal Generator XR2206.....	27
ภาพประกอบที่ 13 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04	27
ภาพประกอบที่ 14 Digital Oscilloscope รุ่น FNIRSI DSO PRO	28
ภาพประกอบที่ 15 อุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรล	29
ภาพประกอบที่ 16 ผลิตภัณฑ์กาว รุ่น A ปริมาณ 5 กรัม ที่อยู่ในภาชนะทดลองขนาด 10X6 เซนติเมตร	29
ภาพประกอบที่ 17 ความหนืดที่แตกต่างกัน 4 ระดับของผลิตภัณฑ์กาว (ก) เหลว	30
ภาพประกอบที่ 18 Digital Force Gauge IMA-DST-1000N.....	34

ภาพประกอบที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว ในระยะความสูงของของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 5 เซนติเมตร	45
ภาพประกอบที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว ในระยะความสูงของของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 10 เซนติเมตร	46
ภาพประกอบที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว ในระยะความสูงของของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 15 เซนติเมตร	47
ภาพประกอบที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว ในระยะความสูงของของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 30 เซนติเมตร	48
ภาพประกอบที่ 23 กราฟค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาตทดลองได้	51
ภาพประกอบที่ 24 การเปรียบเทียบระหว่าง (ก) กราฟค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึด เกาะกับภาตทดลองได้โดยใช้ Digital Force Gauge IMA-DST-1000N และ (ข) กราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืดของผลิตภัณฑ์กาวจากอุปกรณ์วัดความหนืดของ กาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรล.....	52



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ผู้วิจัยได้รับทุนการศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตลอดหลักสูตร จากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สอวช.) ร่วมมือกับทาง บริษัท โซนี่ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ตั้งอยู่ที่ นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร ถนนสุขุมวิท ตำบลดอนหัวฬ่อ อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี หลังจากที่ได้รับทุนการศึกษา ผู้วิจัยได้เข้ามาฝึกประสบการณ์การทำงานกับทางบริษัทโซนี่ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่งผู้ช่วยวิศวกร โดยได้รับมอบหมายให้ดูแลในส่วนการซ่อมบำรุงรักษา เชิงป้องกันเครื่องจักรในสายการผลิตเลนส์

ในขณะปฏิบัติงาน ผู้วิจัยได้พบปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิต ในส่วนกระบวนการประกอบ เลนส์เข้ากับบาร์เรล โดยขั้นตอนดังกล่าวนั้นจะต้องอาศัยการเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีเป็นตัวยึดติดระหว่างเลนส์กับบาร์เรลเข้าด้วยกัน จากการสังเกตและการเก็บข้อมูลพบว่า มีหลายปัญหาที่ส่งผล ต่อคุณภาพและความสูญเสียในสายการผลิต อย่างไรก็ตาม ปัญหาการบ่มการเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วย รังสียูวีที่เกิดการผิดพลาดจากการเสื่อมสภาพของหลอดไฟรังสียูวี หรือการติดตั้งหลอดรังสียูวีไม่ตรง ไปตามตำแหน่งที่ควรจะเป็น ในกระบวนการบ่มการเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีให้แห้งด้วยแสงยูวี เพื่อให้การเป็นตัวยึดติดเลนส์เข้ากับบาร์เรลได้อย่างสมบูรณ์ ในการป้องกันการผิดพลาดดังกล่าวมี เพียงแค่การนำเลนส์ชิ้นแรกที่เสร็จกระบวนการ ไปดันเลนส์เพื่อหาค่าแรงกดสูงสุดที่กาวจะสามารถยึด เลนส์เข้ากับบาร์เรลได้ โดยให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่ทางบริษัทกำหนดเพื่อเป็นการยืนยันว่าหลอดรังสียูวี ได้ถูกติดตั้งตรงตำแหน่งและยังคงใช้งานได้ปกติก่อนการเริ่มผลิตเลนส์ชิ้นถัดไป (Startup) อย่างไรก็ตาม การป้องกันการผิดพลาดดังกล่าวยังคงไม่เพียงพอ เพราะอาการเสื่อมสภาพของหลอดไฟรังสียูวี อาจเกิดขึ้นได้ทุกเมื่อ ความผิดพลาดจากอาการเสื่อมสภาพของหลอดไฟรังสียูวีจะทำให้กาวที่เป็นตัว ยึดติดเลนส์เข้ากับบาร์เรลไม่สามารถยึดชิ้นส่วนดังกล่าวเข้าด้วยกันได้อย่างสมบูรณ์ และอาจถูกส่ง ต่อไปยังกระบวนการถัดๆ ไปได้ หรือแม้กระทั่งส่งต่อไปยังกระบวนการสุดท้ายของการผลิตเลนส์ ซึ่ง นอกจากจะส่งผลให้เลนส์ที่ผลิตออกมาไม่ได้คุณภาพตรงไปตามมาตรฐานของบริษัทแล้ว เลนส์ที่ไม่ได้ คุณภาพนั้นทางบริษัทจะต้องนำเลนส์มาเข้าสู่กระบวนการแยกส่วนและประกอบใหม่ (Rework) ทำให้เสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น

ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ จึงได้มีแนวคิดในการศึกษา ออกแบบและพัฒนา อุปกรณ์ที่จะใช้วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีในกระบวนการประกอบเลนส์เข้า

กับบาร์เรล โดยศึกษาหาความรู้จากแหล่งสืบค้นข้อมูลต่างๆ เพื่อให้อุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีในกระบวนการประกอบเลนส์เข้ากับบาร์เรล ที่มีประสิทธิภาพที่สูงและราคาไม่แพง เพื่อนำมาแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นในหน่วยงานที่ผู้วิจัยได้รับผิดชอบระหว่างฝึกประสบการณ์การทำงาน ณ บริษัทโซนี่ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด

ในการเลือกอุปกรณ์เพื่อนำมาใช้วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวี จำเป็นต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย ได้แก่ ราคา การใช้งาน ค่าความผิดพลาด และวัสดุที่นำมาวัดค่า ผู้วิจัยจึงได้ทำการรวบรวมอุปกรณ์วัดความหนืดที่มีการซื้อขายในท้องตลาดปัจจุบัน ซึ่งมีข้อมูลเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบข้อมูลของเครื่องวัดความหนืดประเภทต่างๆ ที่มีในท้องตลาด

ชื่อเครื่อง	ภาพลักษณะอุปกรณ์	ราคา (บาท)	การใช้งาน	ค่าความผิดพลาด	วัสดุที่นำมาวัดค่า
[1], [2] Drawell-NDJ-5S		41,000	เป็นเครื่องวัดความหนืดของเหลวแบบหมุนได้ ใช้ระบบประมวลผลไมโครโปรเซสเซอร์ 16 บิตเพื่อควบคุมการทำงาน มีย่านการวัดความหนืด 20-100,000 mPa.S	$\pm 1\%$	น้ำมันปิโตรเลียม ยา สี สารเคลือบ เครื่องสำอาง
[3] IWATA NK-2		1,500	นำของเหลวที่จะวัดค่าความหนืดใส่ถ้วยและเริ่มจับเวลาหลังจากของเหลวย่อยลงออกจากถ้วย และ กดหยุดเวลาเมื่อ ของเหลวหยุดไหล และนำค่าเวลาไปเทียบค่าความหนืดที่คู่มือ	$\pm 6\%$	สีชนิดต่างๆ สำหรับงานก่อสร้าง และ งานสีพื้น สีเคลือบ สีทา ในงานโรงงานอุตสาหกรรม
[4] Bostwick		8,500	วัดค่าความหนืดจากอัตราการไหลของสาร ผ่านสเกลวัด	$\pm 5\%$	สารทางด้านเคมี สีทา บ้าน เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม
[5] Brookfield Viscosity Meters		177,200	ให้ความร้อนไปที่สารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เมื่อสารตัวอย่างละลายกลายเป็นของเหลว เครื่องจะวัดค่าความหนืดแบบหมุน หา ค่าความหนืด	$\pm 1\%$	ยางมะตอย ซีเมนต์ เรซิน กาว

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบข้อมูลของเครื่องวัดความหนืดประเภทต่างๆ ที่มีในท้องตลาด (ต่อ)

ชื่อเครื่อง	ภาพลักษณะอุปกรณ์	ราคา (บาท)	การใช้งาน	ค่าความผิดพลาด	วัสดุที่นำมาวัดค่า
[6] RION VT-06		62,700	จุ่ม Rotors ลงในของเหลว จะเกิดค่าความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของ Rotors เกิดค่าความหนืด	$\pm 10 \%$	ปิโตรเคมี, สี, กาว และ งานด้านอาหาร
[7] LeebMH 180		25,200	นำปากกาจิ้มไปที่ชิ้นงานที่จะวัด และกดปุ่มกดปากกาให้กระแทกกับชิ้นงานอุปกรณ์ก็จะคำนวณค่าความแข็ง	$\pm 6\%$	เหล็ก
[8] fht-05		7,741.33	นำอุปกรณ์จิ้มไปที่ชิ้นงานที่จะวัด และกดปุ่มกดด้านบน ให้กระแทกกับชิ้นงานอุปกรณ์ก็จะคำนวณค่าความแข็ง	$\pm 1\%$	ผลไม้เนื้ออ่อนต่างๆ
[9] IMADA FB-PA		18,230	นำอุปกรณ์จิ้มไปที่ชิ้นงานที่จะวัด อุปกรณ์ก็จะคำนวณค่าความแข็ง	$\pm 0.3\%$	เหล็ก พลาสติก ผลไม้ ยาง
[10] NDT RHL-TH130		33,710	นำอุปกรณ์จิ้มไปที่ชิ้นงานที่จะวัด อุปกรณ์ก็จะคำนวณค่าความแข็ง แสดงผลผ่านหน้าจอ LCD	$\pm 0.3\%$	เหล็ก

จากตารางที่ 1 ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบอุปกรณ์ทั้งหมดในด้านราคาพบว่า NDT RHL-TH130 มีคะแนนการเปรียบเทียบจากตารางสูงที่สุด ซึ่งมีค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่ดีอยู่ที่ $\pm 0.3\%$ ในด้านราคาจะอยู่ที่ 18,230 บาท วัสดุที่นำมาวัดค่าก็สามารถวัดกาวด้วยได้เช่นกัน แต่ในด้านการวัดแบบไม่สัมผัสยังคงไม่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ เนื่องจากอุปกรณ์ยังคงไม่เป็นไปตามความต้องการของบริษัท คือการตรวจวัดความหนืดแบบไม่สัมผัสกับเนื้อกาว ค่าความผิดพลาดน้อย ราคาถูก และสามารถวัดความหนืดของกาวได้ ซึ่งความต้องการของบริษัทที่ต้องการอันดับแรกเป็นสิ่งสำคัญคือการตรวจวัดแบบไม่สัมผัส ซึ่งอุปกรณ์ NDT RHL-TH130 ยังคงไม่ตอบโจทย์

จากการที่ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์ทั้งหมดจากตารางที่ 1 เพื่อเลือกอุปกรณ์นำมาใช้วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่ป่นด้วยรังสียูวี พบว่าอุปกรณ์วัดความหนืดที่มีการซื้อขายกันในท้องตลาดปัจจุบันนั้นไม่สามารถตอบโจทย์ในด้านการใช้งาน และวัสดุที่นำมาวัดค่า

ผู้วิจัยจึงได้ทำการหาอุปกรณ์จากแหล่งสืบค้นข้อมูลงานวิจัยต่างๆ เพื่อหาอุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่ป่นด้วยรังสียูวีได้ จึงได้ค้นพบงานวิจัยของ อัมภานุสร น้อยผล และ นพดล มณีรัตน์ ในงานวิจัย “เครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก [11] ” ได้นำเสนอวิธีการคัดแยกโลหะ โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่ได้จากอุปกรณ์อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ Ultrasonic HC-SR04 ที่สร้างความถี่อัลตราโซนิกขนาด 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ทำหน้าที่เป็นตัวส่งคลื่นความถี่ไปยังวัตถุ และเป็นตัวรับคลื่นความถี่ที่สะท้อนกลับออกมาจากวัตถุเป้าหมาย ในการประมวลผลคือการนำคลื่นความถี่อัลตราโซนิกที่สะท้อนกลับออกมาแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการใช้การจับความแรงของสัญญาณเสียงที่สะท้อนกลับมา เป็นตัวแยกความต่างชนิดของวัตถุ ซึ่งวัตถุแต่ละชนิดมีความหนาแน่นและโครงสร้างที่แตกต่างกัน ความแรงของสัญญาณไฟฟ้าที่สะท้อนกลับจากการอ่านค่าโดย Oscilloscope จึงไม่เท่ากันด้วย

จากการศึกษางานวิจัยเครื่องคัดแยกโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก ผู้วิจัยจึงได้สนใจถึงความเป็นไปได้ในการนำอุปกรณ์อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ Ultrasonic HC-SR04 มาใช้วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่ป่นด้วยรังสียูวี ผู้วิจัยจึงทำการรวบรวมข้อมูลของอุปกรณ์อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ Ultrasonic HC-SR04 เพื่อมาวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมในด้านการใช้งาน ราคาการใช้งาน ค่าความผิดพลาด และวัสดุที่นำมาวัดค่า ซึ่งมีข้อมูลเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลเปรียบเทียบอุปกรณ์อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04

ชื่อเครื่อง	ภาพลักษณะอุปกรณ์	ราคา (บาท)	การใช้งาน	ค่าความผิดพลาด	วัสดุที่นำมาวัดค่า
[12] อัลตราโซนิก ทรานสดิวเซอร์ HC-SR04		35 บาท	อุปกรณ์จะตรวจวัดวัตถุโดยใช้การสะท้อนของคลื่นเสียง	±2 %	-

จากตารางที่ 2 ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบข้อมูลของอุปกรณ์อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ในด้านราคาอยู่ที่ 35 บาท ในด้านการใช้งานจะตรวจวัดวัตถุโดยการใช้องศาของคลื่นเสียง ในด้านค่าความผิดพลาดอยู่ที่ $\pm 2\%$ และในด้านวัสดุที่นำมาวัดค่าสามารถวัดได้ทุกประเภท

จากการเปรียบเทียบข้อมูลของอุปกรณ์อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 พบว่าอุปกรณ์อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 นั้นมีความเหมาะสมกับการนำมาใช้วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวี เพราะว่าอุปกรณ์มีราคาที่ถูก การใช้งานมีความเหมาะสมเพราะเป็นการวัดความหนืดโดยการอาศัยการสะท้อนของคลื่นเสียง จึงไม่ทำให้กาวเกิดความเสียหายในขณะวัดความหนืด ในด้านค่าความผิดพลาดนั้นมีค่าที่น้อยสามารถยอมรับได้ และในส่วนของวัสดุที่นำมาวัดค่าก็สามารถวัดได้ทุกประเภท

ในการออกแบบอุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวี จะใช้ Function Signal Generator ควบคุมการสร้างความถี่อัลตราโซนิกขนาด 40 กิโลเฮิร์ตซ์ส่งให้กับอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งคลื่นความถี่ไปยังตัวอย่างกาว และเป็นตัวรับคลื่นความถี่ที่สะท้อนกลับออกมาจากตัวอย่างกาว ในการประมวลผลคือการนำคลื่นความถี่คลื่นอัลตราโซนิกที่สะท้อนกลับออกมาแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการการใช้การจับความแรงของสัญญาณเสียงที่สะท้อนกลับมาแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เป็นตัวแยกความต่างของระดับความหนืดของเนื้อกาวทั้ง 4 ระดับความหนืด คือ เหลว, ค่อนข้างหนืด, หนืด, แข็ง ซึ่งเนื้อกาวทั้ง 4 ระดับความหนืดจะมีความหนาแน่นและโครงสร้างโมเลกุลที่แตกต่างกัน ดังนั้นความแรงของสัญญาณไฟฟ้าที่สะท้อนกลับจากการอ่านค่าโดย Oscilloscope จึงไม่เท่ากันด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและเก็บข้อมูลในส่วนผลของคลื่นความถี่สะท้อนที่แตกต่างกันระหว่างเนื้อกาวแต่ละระดับความหนืด

1.2.2 เพื่อศึกษาค้นคว้า ออกแบบ และพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดความหนืดของกาวที่มีราคาถูก ความผิดพลาดการวัดน้อย และเป็นการวัดแบบไม่สัมผัส โดยเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิมที่ทางบริษัทกำลังใช้อยู่

1.2.3 เพื่อลดความเสียหายที่เกิดจากความผิดพลาดในขั้นตอนการตรวจสอบความหนืดของกาว ในกระบวนการผลิต

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้จะกำหนดขอบเขตการวิจัยเพื่อสามารถกำหนดเป้าหมายและวิธีการในการแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ ขอบเขตของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

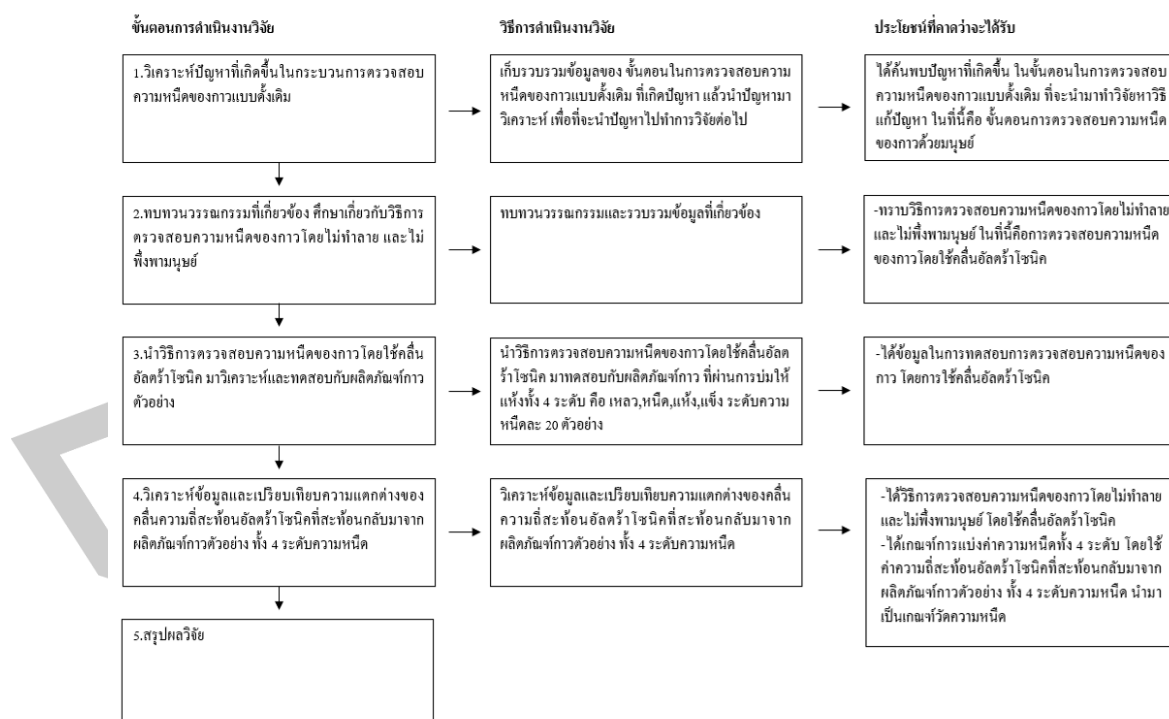
1.3.1 ทำการวิจัยคลี่คลายความถี่ที่สะท้อนจากเนื้อกาหลังจากผ่านกระบวนการบ่มกาเพื่อทำให้เหน็ด

1.3.2 ใช้กาผลิตภัณท์รุ่น A ที่ผ่านการบ่มด้วยแสงยูวี 4 ระดับคือ เหลว ค่อนข้างเหน็ด เหน็ด แข็ง ระดับละ 30 ตัวอย่างอยู่ในสภาพทดลองขนาด 10X6 เซนติเมตร มาใช้ในการทำวิจัย

1.3.3 วิจัยการตรวจสอบความเหน็ดของกาด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

1.4 กรอบการวิจัย

เนื่องจากการวิจัยหลายขั้นตอน เพื่อให้สามารถเห็นภาพรวมของขั้นตอนทั้งหมด ของการดำเนินวิจัยจึงจำเป็นต้องมีกรอบการวิจัย ดังแสดงภาพประกอบที่ 1 โดยกรอบการวิจัยจะประกอบไปด้วย ขอบเขตการวิจัย วิธีการดำเนินการวิจัย และผลที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละขั้นตอนวิจัย



ภาพประกอบที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ข้อมูลในส่วนผลของคลื่นความถี่สะท้อนที่แตกต่างกันระหว่างเนื้อกาวยแต่ระดับความหนืด

1.5.2 ได้ทางเลือกวิธีในการตรวจสอบความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีแบบใหม่ แทนวิธีการดั้งเดิมที่ทางบริษัทกำลังใช้อยู่

1.5.3 ลดความเสียหายที่เกิดจากความผิดพลาดในขั้นตอนการตรวจสอบความหนืดของกาวในกระบวนการผลิต



บทที่ 2

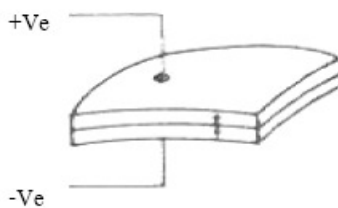
ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินการแก้ปัญหาของการตรวจสอบความหนืดของกาวที่ผลิตพลาสติกในการตัดสินใจโดยมนุษย์ ผู้วิจัยจึงทำการคิดค้นอุปกรณ์ตรวจวัดความหนืดของกาวขึ้นมาโดยอาศัยคลื่นอัลตราโซนิก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับ อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ การแปลงค่าความแรงของคลื่นสะท้อนตามความหนาแน่นของกาว การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นและโมเลกุลของกาว ธรรมชาติของเสียง เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ

2.1 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

เมื่อกล่าวถึงคำว่า อัลตราโซนิก หมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียง 20 กิโลเฮิร์ตซ์เท่านั้น สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอัลตราโซนิกมาใช้ก็เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทางที่แน่นอน ทำให้สามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้ตามที่เจาะจงเรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิดที่ให้เสียงนั้นออกมาของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นั้น คลื่นความถี่ 300 เฮิร์ตซ์ ในอากาศจะมีความยาวถึงประมาณ 1 เมตร ซึ่งจะยาวกว่าช่องเสียงที่ให้เสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียง โดยทั่วไปมากมายคลื่นจะเบี่ยงเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอัลตราโซนิก อย่างเช่น 40 กิโลเฮิร์ตซ์ จะมีความยาวของคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 มิลลิเมตรเท่านั้น ซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มากๆ คลื่นเสียงจะไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบๆ หรือที่เรียกว่าทิศทางนั่นเอง การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิก ทำให้สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบความหนืดของกาวได้ดี เพราะต้องอาศัยคลื่นเสียงที่สามารถกำหนดทิศทางได้นั่นเอง

ในส่วนอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงไฟฟ้าโดยสร้างพัลส์ที่มีความถี่อัลตราโซนิกป้อนให้กับตัวมัน พลังงานไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมาของชิ้นสารเซรามิก ทำให้เกิดเสียงย่านอัลตราโซนิกกระจายไปในอากาศ ดังภาพประกอบที่ 2



ภาพประกอบที่ 2 เมื่อป้อนแรงดันให้กับตัวมันจะทำให้ชิ้นสารเซรามิกโก่งงอไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิกกระจายไปในอากาศ [12]

ชิ้นสารเซรามิกถูกยึดติดภายในตัวถังอย่างดี เพื่อไม่ให้เกิดการสั่นในขณะทำงานได้รับการกระทบกระเทือนจากภายนอก ตัวถังมักจะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงประมาณ 1 ถึง 2.5 ซม. ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิดมีตะแกรงติดอยู่เพื่อไม่ให้คลื่นอัลตราโซนิกเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดได้โดยสะดวก ตัวถังที่ทำมาจากโลหะควรต่อลงกราวด์เพื่อทำหน้าที่ชิลด์

อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้ ชนิดที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่

1. เพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric Transducer) แปลงพลังงานไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อย่างค่าหนึ่ง
2. แมกเนโตสตริกทิฟ (Magnetostrictive Transducer) แปลงพลังงานไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่
3. อิเล็กโตรสตริกทิฟ (Electrostrictive Transducer) แปลงพลังงานไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล

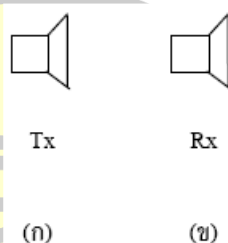
โดยในงานวิจัยนี้จะใช้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ชนิดเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric Transducer) เพราะเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันและมีราคาถูก

2.1.1 การทำงานของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้สารเซรามิกมี 2 ชนิด คือ ตัวส่ง (Transmitter) และ ตัวรับ (Receiver)

1. ตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิก (Transmitter) คือ อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่แปลงคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นคลื่นย่านอัลตราโซนิก เปรียบได้กับการทำงานเป็นลำโพง มีสัญลักษณ์ ดังภาพประกอบที่ 3 (ก) เมื่อมีสัญญาณแรงดันมาต่อคร่อมขั้วทั้งสองของชิ้นสารเซรามิก ดังภาพประกอบที่ 2 จะทำให้ชิ้นสารโก่งงอมากหรือน้อยหรือในทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณนั้นๆ ทำให้เกิดการอัดอากาศ

โดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณนั้นกระจายออกไป ผ่านตัวกลางโดยอากาศและไปตกกระทบที่ตัวภาวที่จะนำมาทดสอบวัดความหนืด

2. ตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก (Receiver) คือ อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่แปลงคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกที่มาตกกระทบที่ตัวมันเป็นสัญญาณไฟฟ้า เปรียบได้กับการทำงานเป็นไมโครโฟนมีสัญลักษณ์ ดังภาพประกอบที่ 3 (ข) เมื่อคลื่นเสียงที่กระจายออกมาจากตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิก (Transmitter) ผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศที่มีความหนาแน่นน้อยไปตกกระทบที่ตัวภาวที่จะนำมาทดสอบวัดความหนืดที่มีความหนาแน่นมากกว่า ตามหลักการของคลื่นเสียง คือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน เมื่อเสียงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยไปยังวัตถุที่มีความหนาแน่นมากกว่า คลื่นเสียงจะถูกสะท้อนกลับมาที่มุมเท่าเดิมที่ ตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก (Receiver) และความถี่เสียงที่สะท้อนกลับมามาตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ เข้ามากระทบชิ้นสารเซรามิกที่อยู่ในตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก (Receiver) จะทำให้ชิ้นสารโก่งงอไปมาทำให้เกิดสัญญาณแรงดันขนาดเล็กตกคร่อมที่ขั้วทั้งสองของตัวมันเอง

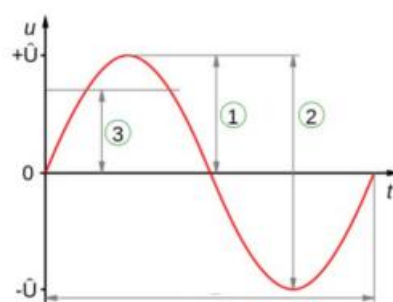


ภาพประกอบที่ 3 สัญลักษณ์ของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (ก) ตัวส่ง (ข) ตัวรับ

2.2 การแปลผันค่าความแรงของคลื่นสะท้อนตามความหนาแน่นของภาว

การแปลผันค่าความแรงของคลื่นสะท้อนตามความหนาแน่น โดยค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากขาทั้งสองข้างของตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก (Receiver) นั้น ค่าที่ได้มาจะขึ้นอยู่กับความแรงของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมากกระทบที่ ชิ้นสารเซรามิกที่อยู่ในตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก (Receiver) โดยค่าความดังของคลื่นเสียงนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อน กล่าวคือภาวที่จะนำมาทดสอบวัดความหนืดนั้น มีผลต่อความดังของการสะท้อนของเสียงเพราะว่าภาวแต่ละระดับความหนืดนั้นมีคุณสมบัติในการดูดซับและสะท้อนเสียงที่ไม่เท่ากัน เพราะว่าความหนาแน่นของภาวที่ใช้เป็นฉากในการสะท้อนคลื่นเสียงอาจส่งผลให้มีการดูดกลืนเสียงทั้งหมด หรือปริมาณเสียงที่สะท้อนกลับมาใน

ระดับที่แตกต่างกันได้เพราะว่าการเดินทางของคลื่นเสียงจากตัวกลางที่มีความต่างชนิดกันนั้น จะทำให้คลื่นเสียงเกิดการหักเหบางส่วน และในการหักเห นั้นหากว่าคลื่นเสียงนั้นเดินทางไปยังกาที่มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศมาก ๆ จะเกิดการสะท้อนกลับหมดของคลื่นเสียง แต่ถ้าหากว่าความหนาแน่นของกาที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าคลื่นเสียงบางส่วนอาจถูกดูดกลืนไป ทำให้ความแรงของเสียงที่สะท้อนกลับมาถึง ตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก (Receiver) นั้นลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามนั้น หากว่าเราใช้กาที่มีความหนาแน่นมากกว่าใช้เป็นฉากสะท้อนเสียง จะส่งผลให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นได้มากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ความแรงของเสียงที่สะท้อนกลับมาถึง ตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก (Receiver) นั้นเพิ่มมากขึ้น การวัดความแรงของคลื่นเสียงที่สะท้อนที่กลับมาจากฉากสะท้อน สามารถอ่านได้ด้วย Oscilloscope แสดงเป็นรูปคลื่นแอมพลิจูด [13] ดังภาพประกอบที่ 4 ที่ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอยู่ที่ขาของตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก (Receiver)



กราฟขายน์

- 1 = Peak amplitude ($\hat{U}$),
- 2 = Peak-to-peak amplitude ($2\hat{U}$),
- 3 = RMS amplitude ($\hat{U}/\sqrt{2}$),

ภาพประกอบที่ 4 รูปคลื่นแอมพลิจูด

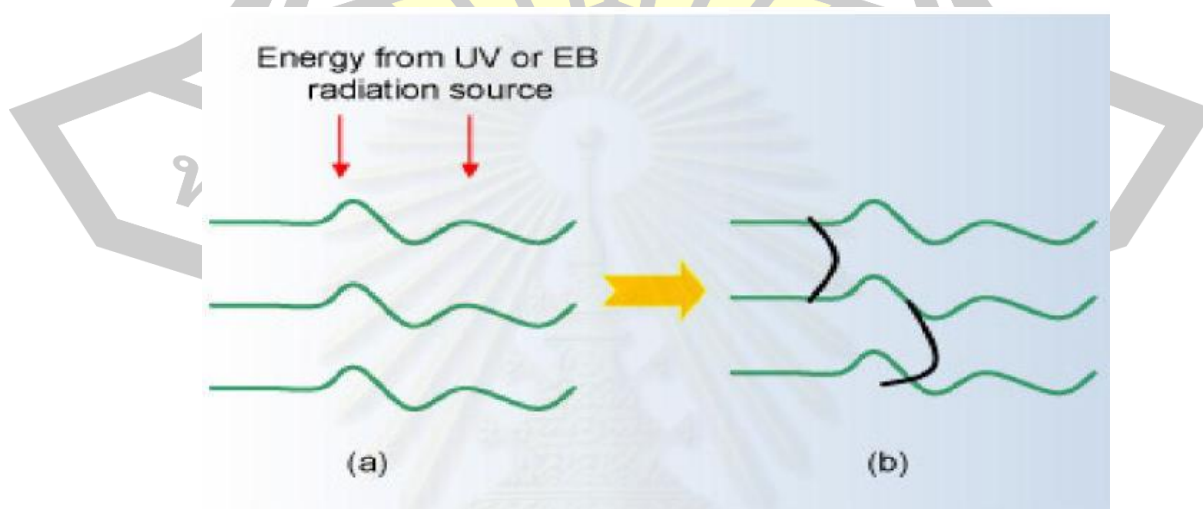
2.3 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นและโมเลกุลของกา

การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นและโมเลกุล โดยกาที่จะนำมาใช้ในการทดสอบกับอุปกรณ์วัดความหนืดของกา คือกาที่มีชื่อเรียกทางเคมีว่าอะคริลิเรซิน หรือเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวี โดยในส่วนประกอบหลักของกาชนิดนี้คือ Modified acrylate oligomers 25%, UV curable monomers 35%, Fillers 35%, Additive Agents 5%

2.3.1 ข้อดีของการใช้การที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต

1. ผลผลิตที่เกิดจากการบ่มเร่งด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตจะมีความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาสูง
2. กระบวนการบ่มเร่งไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะมีปริมาณของสารอินทรีย์ที่ระเหยจะมีปริมาณน้อยมาก
3. การบ่มเร่งสามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเหมาะกับวัสดุที่ไม่ทนต่อความร้อน

กาวชนิดนี้จะสามารถเปลี่ยนสถานะความหนืดหรือความหนาแน่นได้โดยการบ่มด้วยรังสียูวี โดยการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นและโมเลกุลของกาวนั้นจะเกิดขึ้นได้จากการเกิดปฏิกิริยาภายในกาวที่มีชื่อเรียกว่า “โฟโตพอลิเมอไรเซชัน” โดยจะมีสารหลักๆคือ Monomer และ Photo Initiator เมื่อกาวได้รับแสง Ultraviolet ตัว Photoinitiator หรือตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสงจะดูดกลืนแสง และเริ่มต้นปฏิกิริยา “โฟโตพอลิเมอไรเซชัน” หรือกลไกการบ่มเร่งด้วยรังสี [14] ดังภาพประกอบที่ 5 ปกติจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งก็คือการเอา Monomer มาจับตัวกันเป็น Polymer ที่มีการเชื่อมโยงสายโซ่เป็นโครงร่างตาข่ายที่มีความหนาแน่นและแข็งแรง กล่าวคือเมื่อกาวเรซินอะคริลิก ได้รับแสง Ultraviolet สารเคมีในเนื้อกาวจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้กาวมีความหนาแน่นและโมเลกุลที่เปลี่ยนไปจากเดิม จึงทำให้กาวเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งทางผู้วิจัยจึงได้ใช้ทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นและโมเลกุลกาวนำมาใช้กับงานวิจัยนี้ คือการใช้สมบัติการแปรผันค่าความแรงของคลื่นสะท้อนตามความหนาแน่นของกาว เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถแยกค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากขาทั้งสองข้างของตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก (Receiver) ที่ได้ค่ามาจากความแรงของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมาจากกาวที่มีความหนืดแตกต่างกันของกาวที่นำมาทดสอบ



ภาพประกอบที่ 5 กลไกการบ่มเร่งด้วยรังสี

2.4 ธรรมชาติของเสียง

ธรรมชาติของเสียง[15] เสียงเป็นการถ่ายทอดพลังงานที่เกิดจากการสั่นของวัตถุ เช่น การสั่นของสายกีตาร์ สายไวโอลิน ทำให้โมเลกุลของอากาศข้างเคียงได้รับพลังงานแล้วเคลื่อนที่กลับไปกลับมาหรือ ออสซิลเลต คลื่นเสียงเป็นคลื่นกล หมายความว่า เป็นคลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่น ของแข็ง ของเหลว ก๊าซ ดังนั้นคลื่นเสียงไม่สามารถส่งผ่านสุญญากาศได้ นอกจากนี้คลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาว (Longitudinal wave) เพราะโมเลกุลของตัวกลางเกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นช่วงอัดและช่วงขยาย เสียงจะเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางในลักษณะเช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของเกลียวสปริง นั่นคือ มีการถ่ายเทพลังงานเสียงจากแหล่งกำเนิดให้กับโมเลกุลตัวกลางที่อยู่รอบๆ นั่นคือ ทำให้โมเลกุลของอากาศเกิดการสั่นสะเทือน การเคลื่อนที่ของโมเลกุลอากาศทำให้มีบางบริเวณมีโมเลกุลอากาศอยู่หนาแน่น นั่นคือความดันอากาศบริเวณนั้นสูงกว่าปกติ เรียกว่า ส่วนอัด และบางบริเวณมีโมเลกุลของอากาศอยู่เบาบาง นั่นคือความดันอากาศบริเวณนั้นต่ำกว่าปกติ เรียกว่า ส่วนขยาย ทั้ง 2 ส่วนเกิดสลับกันเป็นช่วงๆ และเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆ จนถึงแหล่งรับเสียง ระยะห่างระหว่างส่วนอัด 2 ส่วน หรือส่วนขยาย 2 ส่วนที่อยู่ติดกัน เรียกว่า ความยาวคลื่นเสียง ธรรมชาติของเสียงหมายถึง คุณสมบัติเฉพาะตัวของเสียงทำให้สามารถจำแนกความแตกต่างของเสียงได้ ความแตกต่างของเสียงมีอยู่ด้วยกัน 3 ประการ คือ

2.4.1 ระดับของเสียง (Pitch) คือความสูงต่ำของเสียง ขึ้นอยู่กับความถี่เสียงของแหล่งกำเนิด เสียงที่มีความถี่สูงจะทำให้เสียงแหลมและเสียงที่มีความถี่ต่ำจะทำให้เสียงทุ้ม โดยปกติหูของมนุษย์สามารถรับฟังเสียงในช่วงความถี่ 20-20,000 เฮิรตซ์ เสียงที่มีความถี่ต่ำหรือสูงกว่านี้จะไม่สามารถรับฟังได้ เรียกเสียง 20,000 เฮิรตซ์ ว่าอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ซึ่งเป็นเสียงเงียบ และเรียกเสียงที่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ ว่าอินฟราโซนิก (Infrasonic) ซึ่งเป็นเสียงเงียบเช่นกัน

2.4.2 ความดังของเสียง (Loudness) คือ ความค่อย-ดังของเสียง วัดได้จากความเข้มเสียงมีหน่วยเป็นวัตต์/ตารางเมตร นั่นคือกำลังเสียงที่ตกกระทบตั้งฉากกับพื้นที่รองรับ 1 ตารางหน่วย เสียงจะดังหรือค่อยขึ้นอยู่กับแอมพลิจูด เสียงดังมีค่าแอมพลิจูดสูงกว่าเสียงค่อย

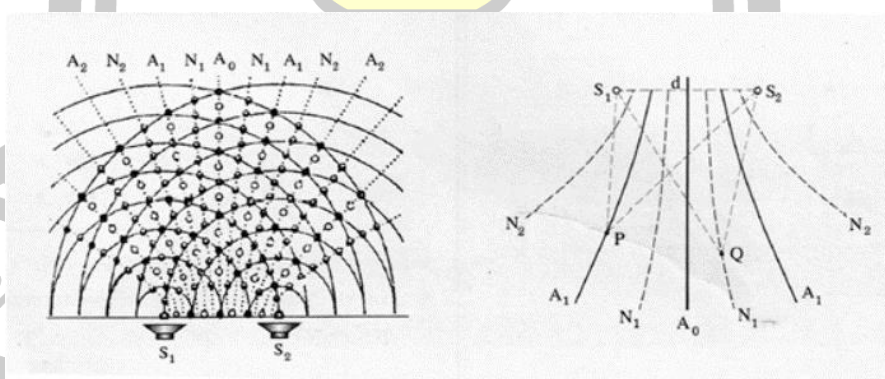
2.4.3 คุณภาพเสียง (Quality) คือลักษณะเฉพาะตัวของแหล่งกำเนิดเสียง มิได้หมายถึงเสียงดีหรือไม่ดี คุณภาพเสียงแต่ละคนแตกต่างกันด้วย เพราะแต่ละคนมีแหล่งกำเนิดเสียงที่สั่นด้วยความถี่ต่างกัน เนื่องจากเสียงเป็นคลื่นตามยาวต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ดังนั้นอัตราเร็วของเสียงจึงไม่คงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง และสมบัติของตัวกลาง ได้แก่ ความหนาแน่น สมบัติความยืดหยุ่นของตัวกลาง และอุณหภูมิของตัวกลางนั้นๆ โดยอัตราเร็วของเสียงในอากาศ < อัตราเร็วของเสียงในของเหลว < อัตราความเร็วของเสียงในของแข็ง ตามลำดับ

1. การสะท้อนของคลื่น การสะท้อนเป็นไปตามกฎสะท้อน ซึ่งกล่าวว่า ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบ ทิศทางเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อน และเส้นแนวฉากวางตัวอยู่บนระนาบเดียวกัน มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน[16] ดังภาพประกอบที่ 6 กฎการสะท้อนเป็นจริงเสมอ ไม่ว่าคลื่นจะเคลื่อนที่ไปกระทบแผ่นสะท้อนที่มีรูปร่างเป็นเส้นตรงหรือไม่ก็ตาม หน้าคลื่นจะเป็นคลื่นหน้าตรงหรือโค้งก็ได้ และการสะท้อนไม่ทำให้ความถี่ของคลื่นเปลี่ยนไป



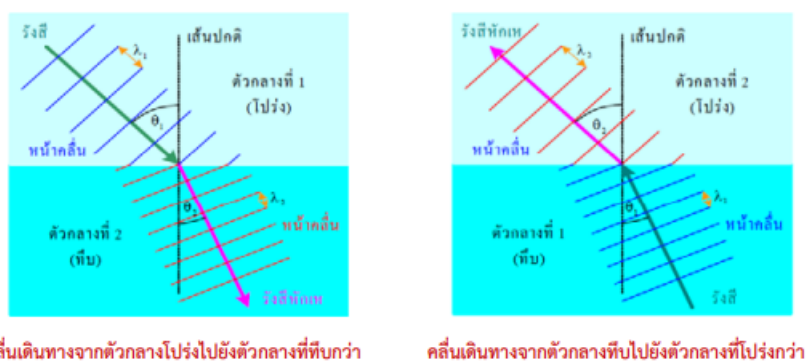
ภาพประกอบที่ 6 มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

2. การแทรกสอดของคลื่นเสียง[17] เมื่อมีคลื่นต่อเนื่องจากแหล่งกำเนิดคลื่น 2 แหล่งที่มีความยาวคลื่น ความถี่ และ แอมพลิจูดเท่ากัน โดยมีเฟสตรงกันหรือตรงข้ามกัน คลื่นที่มาพบกัน จะเกิดการซ้อนทับระหว่างคลื่นต่อเนื่องทั้งสอง การแทรกสอดของเสียงแสดง ดังภาพประกอบที่ 7



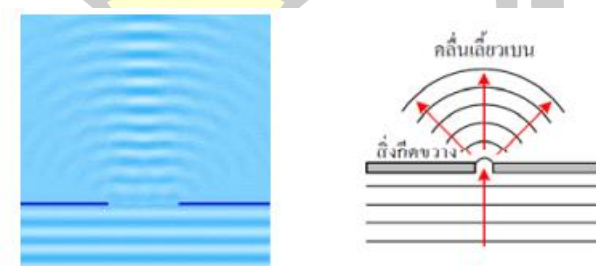
ภาพประกอบที่ 7 การแทรกสอดของคลื่นเสียง

3. การหักเหของคลื่นเสียง[18] ดังภาพประกอบที่ 8 เมื่อคลื่นแผ่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งแล้วอัตราเร็วในการแผ่ของคลื่นในตัวกลางทั้งสองไม่เท่ากัน จึงทำให้แนวการแผ่ของคลื่นเปลี่ยนไป



ภาพประกอบที่ 8 การหักเหของคลื่นเสียง

4. การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง[19] เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางจะเกิดการสะท้อน แต่จะมีคลื่นอีกส่วนหนึ่งที่เคลื่อนที่แผ่อ้อมสิ่งกีดขวางไปทางด้านหลังได้ เรียกว่าเกิดการเลี้ยวเบน ดังภาพประกอบที่ 9 ของคลื่น ถ้าสิ่งกีดขวางนั้น มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่น คลื่นนั้นจะเคลื่อนที่กระจายออกจากสิ่งกีดขวางไม่เกิดการเลี้ยวเบนของคลื่น ดังนั้นการเลี้ยวเบนจะเกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งกีดขวางมีขนาดโตกว่าความยาวคลื่น



ภาพประกอบที่ 9 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง

พหุ ประถมศึกษา

บทที่ 3

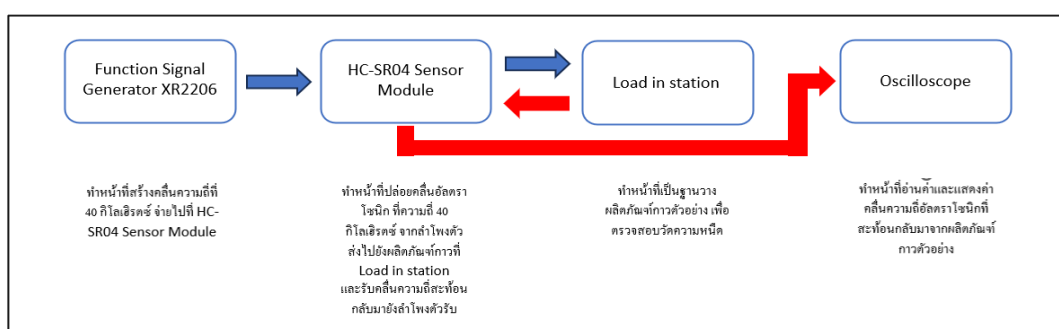
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการตรวจสอบความหนืดของ กาวแบบดั้งเดิม คือ ตรวจสอบโดยใช้มนุษย์ ของผลิตภัณฑ์กาวรุ่น A โดยเริ่มทำการวิเคราะห์ใน ขั้นตอนการตรวจสอบความหนืดของกาวแบบดั้งเดิมที่เกิดปัญหาในการตัดสินใจโดยมนุษย์ที่ผิดพลาด จากนั้นนำปัญหามาทำการหาวิธีแก้ไข ในส่วนการวิเคราะห์ปัญหาได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 และบทที่ 2 ในบทนี้จะขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อ

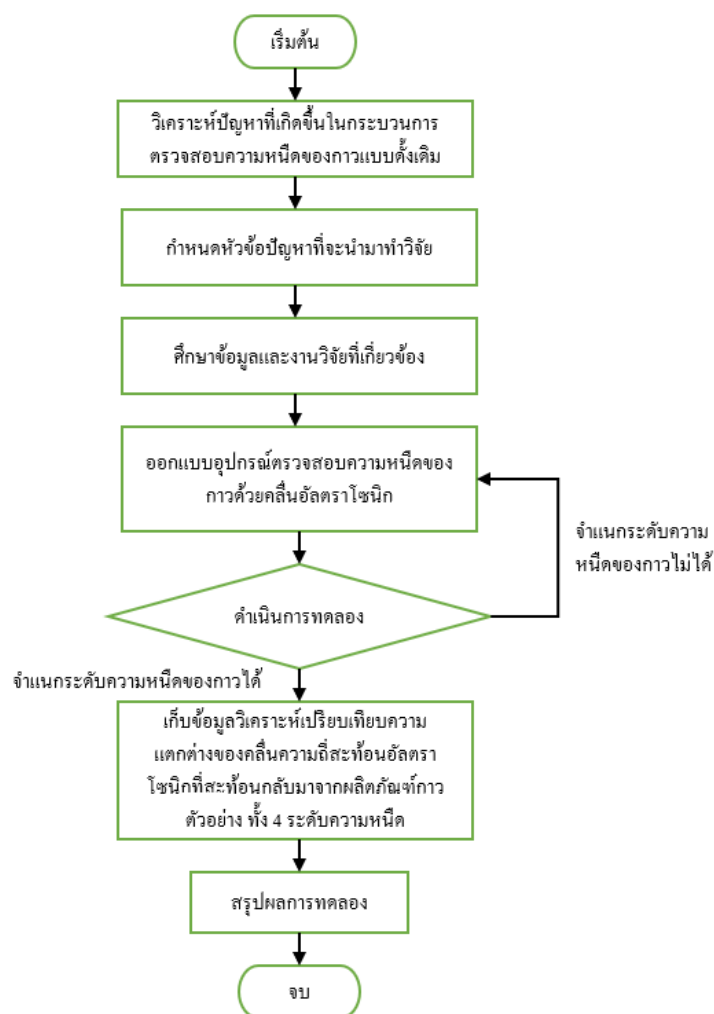
- 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
- 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย
- 3.3 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการศึกษาและวิจัยการวัดความหนืดของกาวด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งมี กระบวนการทั้งหมด ดังภาพประกอบที่ 10 โดยจะเริ่มนำผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างเข้าอุปกรณ์วัด ความหนืดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ที่กระบวนการใส่กาว (Load in) จากนั้น Function Signal Generator จะเริ่มสร้างคลื่นความถี่ที่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อจ่ายไปที่อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 จากนั้นอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 จะปล่อยคลื่นเสียงอัลตราโซนิก ที่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ จากลำโพงตัวส่งไปยังผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่าง จากนั้นคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิกเมื่อ กระทบกับผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่าง คลื่นความถี่เสียงก็จะสะท้อนกลับมายังลำโพงตัวรับของอัลตรา โซนิคทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 และจะถูกอ่านค่าความถี่สะท้อนด้วย Oscilloscope เพื่อใช้อ่าน ค่าความถี่ที่สะท้อนกลับมาจากผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่าง และนำค่าที่ได้ไปเก็บข้อมูล



ภาพประกอบที่ 10 กระบวนการของอุปกรณ์วัดความหนืดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

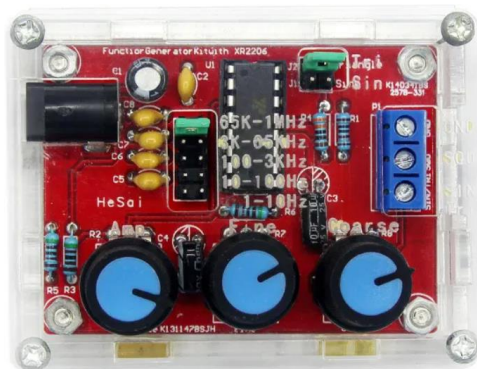


ภาพประกอบที่ 11 ขั้นตอนการทำวิจัย

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 Function Signal Generator XR2206

Function Signal Generator XR2206[20] ดังภาพประกอบที่ 12 เป็นเครื่องกำเนิดความถี่ โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานและสร้างความถี่อัลตราโซนิกขนาด 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ส่งให้ไปยังอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ที่จำเป็นต้องการส่งคลื่นความถี่ไปยังผลิตภัณฑ์กาว ตัวอย่างที่ต้องการวัดและรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมา



ภาพประกอบที่ 12 Function Signal Generator XR2206

3.2.2 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 [21]

อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ดังภาพประกอบที่ 13 เป็นอุปกรณ์ใช้วัดความหนืดแบบไม่ต้องการสัมผัสกับผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างที่ต้องการวัด วัดได้ตั้งแต่ 2 cm ถึง 25 cm โดยส่งสัญญาณอัลตราโซนิกความถี่ 40 kHz ไปที่ผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างที่ต้องการวัดและรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมา



ภาพประกอบที่ 13 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04

3.2.3 Digital Oscilloscope รุ่น FNIRSI DSO PRO [22]

Digital Oscilloscope รุ่น FNIRSI DSO PRO ดังภาพประกอบที่ 14 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการส่งสัญญาณเสียงจากลำโพงตัวส่ง และรับคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมายังลำโพงตัวรับเพื่อนำคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกนำมาแปลงเป็นคลื่นความถี่ไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้งานกับอุปกรณ์อื่น



ภาพประกอบที่ 14 Digital Oscilloscope รุ่น FNIRSI DSO PRO

3.2.4 Microsoft Excel [23]

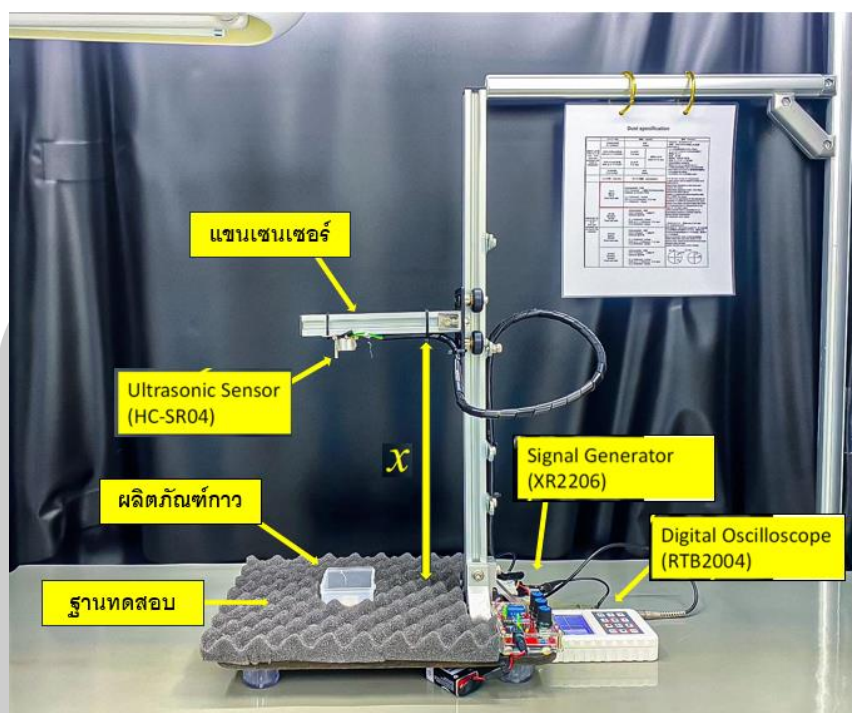
Microsoft Excel เป็นโปรแกรมทางด้านตารางคำนวณหรือที่เรียกว่า สเปรดชีต (Spreadsheet) เป็นโปรแกรมในชุด Microsoft Office มีความสามารถในการสร้างตาราง การคำนวณ การวิเคราะห์ รายงานในรูปแบบตารางและกราฟ

3.3 วิธีการเก็บข้อมูลและการเปรียบเทียบข้อมูล

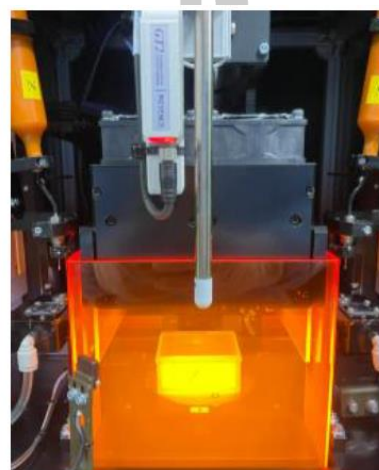
ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองดังนี้

3.3.1 ตารางการเก็บผลการวิจัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืดของผลิตภัณฑ์กาวและระยะความสูงของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ที่เหมาะสมของอุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่ป้อนด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรล ดังภาพประกอบที่ 15

ในการทดลองจะทำการเก็บข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่ที่สะท้อนกลับมาจากผลิตภัณฑ์กาว รุ่น A ปริมาณ 5 กรัม ที่อยู่ในภาชนะทดลองขนาด 10X6 เซนติเมตร ดังภาพประกอบที่ 16 ผลิตภัณฑ์กาวมีความหนืดที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ เหลว ค่อนข้างหนืด หนืด แข็ง ทั้งหมด 30 ตัวอย่าง ดังภาพประกอบที่ 17 เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดกับค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว รุ่น A ทั้ง 4 ระดับความหนืด รวมถึงการเก็บข้อมูลระยะความสูงของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 เพื่อหาระดับความสูงที่เหมาะสมและสามารถวัดความหนืดได้อย่างแม่นยำ และคงที่โดยทำการออกแบบตารางบันทึกการวิจัย ดังตารางที่ 3



ภาพประกอบที่ 15 อุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่ป้อนด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรล



ภาพประกอบที่ 16 ผลึกแก้ว รุ่น A ปริมาณ 5 กรัม ที่อยู่ในถาดทดลองขนาด 10X6 เซนติเมตร



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพประกอบที่ 17 ความหนืดที่แตกต่างกัน 4 ระดับของผลิตภัณฑ์กาว (ก) เหลว
(ข) ค่อนข้างหนืด (ค) หนืด (ง) แข็ง



ตารางที่ 3 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่สะท้อนจากตัวอย่างกาว

ตัวอย่างกาวที่	ความสูง ของ เซนเซอร์	ค่าแอมพลิจูด							
		ไม่วัด	รูป	บ่ม 4 วินาที	รูป	บ่ม 6 วินาที	รูป	บ่ม 14 วินาที	รูป
		(เหลว)		(ก่อนแข็งเหนียว)		(เหนียว)		(แข็ง)	
1	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
2	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
3	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
4	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
5	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
6	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
7	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
8	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
9	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
10	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								

ตารางที่ 3 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่สะท้อนตัวอย่างกาว (ต่อ)

ตัวอย่างกาวที่	ความสูง ของ เซนเซอร์	ค่าแอมพลิจูด							
		ไม่ถูกบ่ม	รูป	บ่ม 4 วินาที	รูป	บ่ม 6 วินาที	รูป	บ่ม 14 วินาที	รูป
		(เหลว)		(ค่อนข้างหนืด)		(หนืด)		(แข็ง)	
11	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
12	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
13	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
14	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
15	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
16	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
17	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
18	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
19	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
20	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								

ตารางที่ 3 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่สะท้อนตัวอย่างกาว (ต่อ)

ตัวอย่างกาวที่	ความสูง ของ เซนเซอร์	ค่าแอมพลิจูด							
		ไม่ถูกบ่ม	รูป	บ่ม 4 วินาที	รูป	บ่ม 6 วินาที	รูป	บ่ม 14 วินาที	รูป
		(เหลว)		(ค่อนข้างหนืด)		(หนืด)		(แข็ง)	
21	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
22	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
23	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
24	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
25	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
26	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
27	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
28	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
29	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								
30	5 cm								
	10 cm								
	15 cm								
	30 cm								

3.3.2 ตารางการเปรียบเทียบผลการวิจัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาตทดลองได้กับค่าแอมพลิฟายด์ที่ได้จากการวัดความหนืดจากผลิตภัณฑ์กาว

เมื่อได้ระดับความสูงที่เหมาะสมที่สามารถวัดความหนืดได้อย่างแม่นยำ จึงจะทำการเก็บข้อมูลค่าทนแรงกดสูงสุดจากผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างทั้ง 30 ตัวอย่าง โดยใช้ Digital Force Gauge IMA-DST-1000N [24] ดังภาพประกอบที่ 18 มากดที่ผลิตภัณฑ์กาวที่อยู่ในภาตทดลองเพื่อหาค่าแรงกดสูงสุดที่ผลิตภัณฑ์กาวจะสามารถยึดเกาะกับภาตทดลองได้ เพื่อนำมาเปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาตทดลองได้กับค่าแอมพลิฟายด์ที่ได้จากการวัดจากกาวตัวอย่างด้วยอุปกรณ์วัดความหนืด ดังตารางที่ 4



ภาพประกอบที่ 18 Digital Force Gauge IMA-DST-1000N

พูน ปณ จิตโต ชีเว

ตารางที่ 4 ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูลค่าทนแรงกดสูงสุดจากกาวตัวอย่างทั้ง 30 ตัวอย่าง

ตัวอย่างกาวที่	ค่าทนแรงกดสูงสุด (N)			
	ไม่ถูกบ่ม	บ่ม 4 วินาที	บ่ม 6 วินาที	บ่ม 14 วินาที
	(เหลว)	(กึ่งแข็งหนืด)	(หนืด)	(แข็ง)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				



บทที่ 4

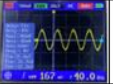
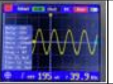
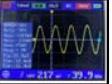
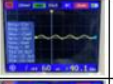
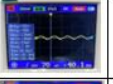
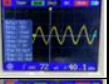
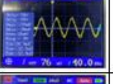
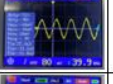
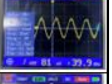
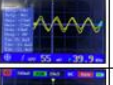
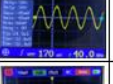
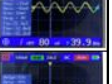
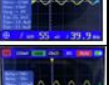
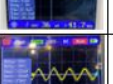
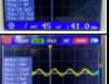
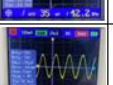
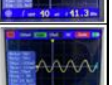
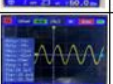
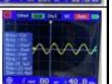
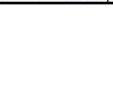
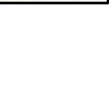
ผลการทดลอง

สำหรับในบทที่ 4 ผู้วิจัยนำเสนอผลการศึกษาและทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 นำเสนอการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดกับค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว และ ระยะเวลาสูงของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ที่เหมาะสม ส่วนที่ 2 นำเสนอการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทนแรงกดสูงสุดของกาวกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีโดยใช้เครื่อง Digital Force Gauge IMA-DST-1000N กับค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดจากกาวตัวอย่างด้วยอุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

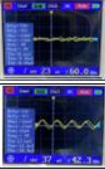
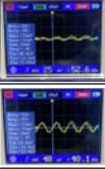
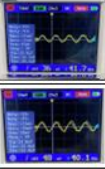
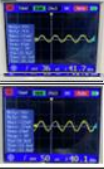
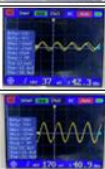
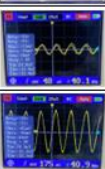
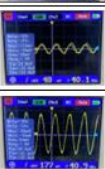
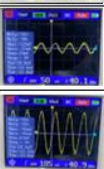
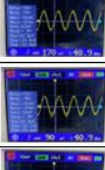
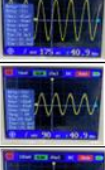
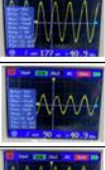
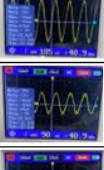
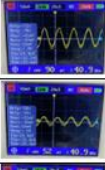
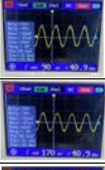
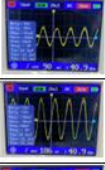
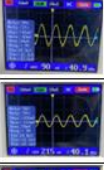
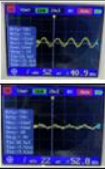
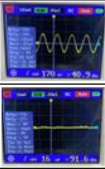
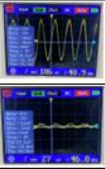
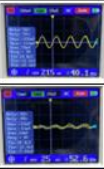
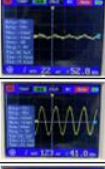
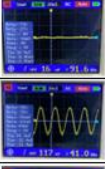
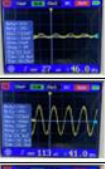
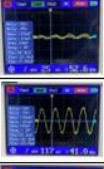
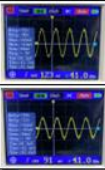
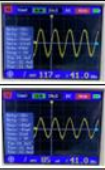
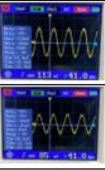
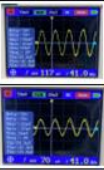
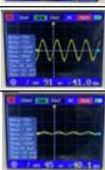
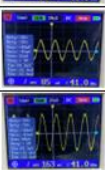
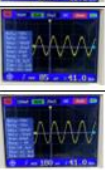
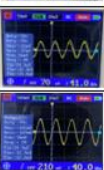
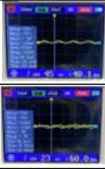
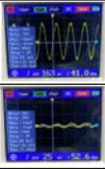
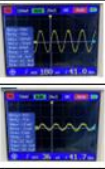
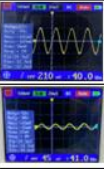
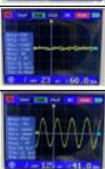
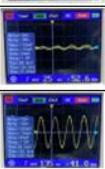
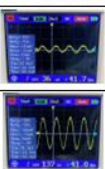
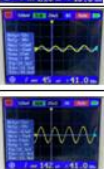
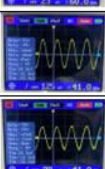
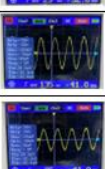
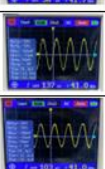
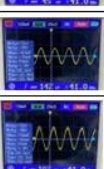
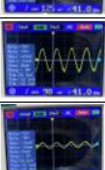
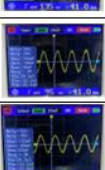
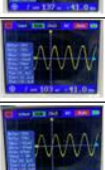
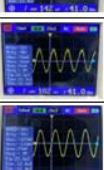
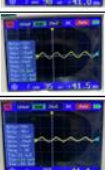
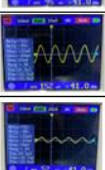
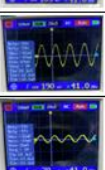
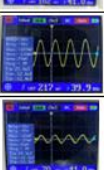
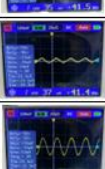
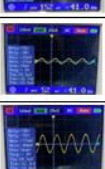
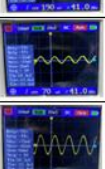
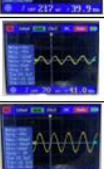
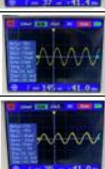
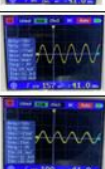
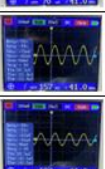
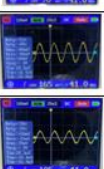
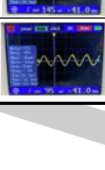
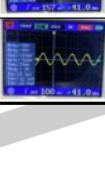
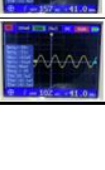
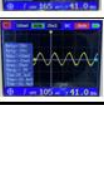
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดกับความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว และระยะเวลาสูงของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ที่เหมาะสม

ในหัวข้อที่ 4.1 ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดกับค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว และ ระยะเวลาสูงของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ที่เหมาะสม ในการทดลองจะนำผลิตภัณฑ์กาว รุ่น A ปริมาณ 5 กรัม ใส่ภาชนะทดลองขนาด 10X6 เซนติเมตร เพื่อนำไปวัดค่าความหนืดด้วยอุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรล จากนั้นจะทำการเก็บข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่ที่สะท้อนกลับมาจากผลิตภัณฑ์กาว รุ่น A ทั้งหมด 30 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างจะถูกนำไปบ่มด้วยแสงยูวีก่อนวัดค่าความหนืดทุกครั้ง กาวแต่ละตัวอย่างจะถูกบ่มทั้งสิ้น 4 ครั้ง ที่มีความหนืดที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ เหลว ค่อนข้างหนืด หนืด แข็ง ทั้งหมด 30 เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว รุ่น A ทั้ง 4 ระดับความหนืด รวมถึงการเก็บข้อมูลระยะความสูงของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 เพื่อวิเคราะห์หาระดับความสูงที่เหมาะสมและสามารถวัดความหนืดได้อย่างแม่นยำ ดังแสดงในตารางที่ 5

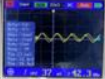
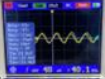
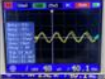
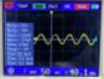
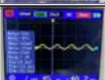
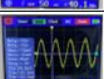
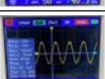
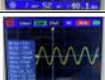
ตารางที่ 5 ตารางบันทึกข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่สะท้อนตัวอย่างกาว

ตัวอย่างกาวที่	ความสูงของ เซรามเซอร์	ค่าแอมพลิจูด							
		ไม่ถูกบ่ม	รูป	บ่ม 4 วัน	รูป	บ่ม 6 วัน	รูป	บ่ม 14 วัน	รูป
		(สีขาว)		(ค่อนข้างหนืด)		(หนืด)		(แข็ง)	
1	5 cm	Vp-p 55 Mv		Vp-p 167 Mv		Vp-p 195 Mv		Vp-p 217 Mv	
	10 cm	Vp-p 42 Mv		Vp-p 60 Mv		Vp-p 70 Mv		Vp-p 72 Mv	
	15 cm	Vp-p 70 Mv		Vp-p 76 Mv		Vp-p 80 Mv		Vp-p 81 Mv	
	30 cm	Vp-p 55 Mv		Vp-p 55 Mv		Vp-p 50 Mv		Vp-p 52 Mv	
2	5 cm	Vp-p 53 Mv		Vp-p 170 Mv		Vp-p 197 Mv		Vp-p 215 Mv	
	10 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 48 Mv		Vp-p 48 Mv		Vp-p 50 Mv	
	15 cm	Vp-p 68 Mv		Vp-p 72 Mv		Vp-p 77 Mv		Vp-p 80 Mv	
	30 cm	Vp-p 53 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 55 Mv		Vp-p 55 Mv	
3	5 cm	Vp-p 55 Mv		Vp-p 167 Mv		Vp-p 195 Mv		Vp-p 215 Mv	
	10 cm	Vp-p 23 Mv		Vp-p 25 Mv		Vp-p 36 Mv		Vp-p 45 Mv	
	15 cm	Vp-p 36 Mv		Vp-p 40 Mv		Vp-p 48 Mv		Vp-p 52 Mv	
	30 cm	Vp-p 36 Mv		Vp-p 32 Mv		Vp-p 35 Mv		Vp-p 40 Mv	
4	5 cm	Vp-p 68 Mv		Vp-p 175 Mv		Vp-p 197 Mv		Vp-p 215 Mv	
	10 cm	Vp-p 23 Mv		Vp-p 25 Mv		Vp-p 36 Mv		Vp-p 36 Mv	
	15 cm	Vp-p 155 Mv		Vp-p 170 Mv		Vp-p 187 Mv		Vp-p 187 Mv	
	30 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 70 Mv		Vp-p 80 Mv		Vp-p 80 Mv	

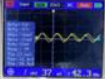
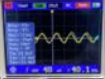
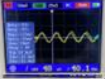
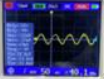
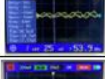
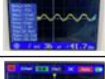
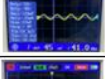
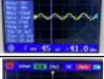
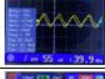
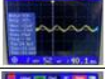
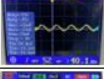
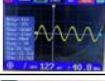
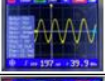
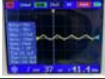
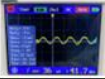
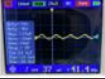
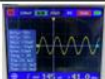
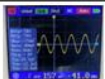
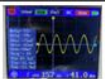
ตารางที่ 5 ตารางบันทึกข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่สะท้อนตัวอย่างขาว (ต่อ)

ตัวอย่างขาวที่	ความสูงของเซนเซอร์	ค่าแอมพลิจูด							
		ไม่ถูกป้อน	รูป	ป้อน 4 วินาที	รูป	ป้อน 6 วินาที	รูป	ป้อน 14 วินาที	รูป
		(จอขาว)		(กล้องข้างบน)		(หน้า)		(ข้าง)	
5	5 cm	Vp-p 55 Mv		Vp-p 167 Mv		Vp-p 187 Mv		Vp-p 210 Mv	
	10 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 48 Mv		Vp-p 48 Mv		Vp-p 50 Mv	
	15 cm	Vp-p 170 Mv		Vp-p 175 Mv		Vp-p 177 Mv		Vp-p 185 Mv	
	30 cm	Vp-p 90 Mv		Vp-p 90 Mv		Vp-p 90 Mv		Vp-p 90 Mv	
6	5 cm	Vp-p 52 Mv		Vp-p 170 Mv		Vp-p 186 Mv		Vp-p 215 Mv	
	10 cm	Vp-p 22 Mv		Vp-p 16 Mv		Vp-p 27 Mv		Vp-p 25 Mv	
	15 cm	Vp-p 123 Mv		Vp-p 117 Mv		Vp-p 113 Mv		Vp-p 117 Mv	
	30 cm	Vp-p 91 Mv		Vp-p 85 Mv		Vp-p 85 Mv		Vp-p 70 Mv	
7	5 cm	Vp-p 45 Mv		Vp-p 163 Mv		Vp-p 180 Mv		Vp-p 210 Mv	
	10 cm	Vp-p 23 Mv		Vp-p 25 Mv		Vp-p 36 Mv		Vp-p 45 Mv	
	15 cm	Vp-p 125 Mv		Vp-p 135 Mv		Vp-p 137 Mv		Vp-p 142 Mv	
	30 cm	Vp-p 98 Mv		Vp-p 95 Mv		Vp-p 103 Mv		Vp-p 102 Mv	
8	5 cm	Vp-p 35 Mv		Vp-p 152 Mv		Vp-p 190 Mv		Vp-p 217 Mv	
	10 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 70 Mv		Vp-p 70 Mv	
	15 cm	Vp-p 145 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 165 Mv	
	30 cm	Vp-p 95 Mv		Vp-p 100 Mv		Vp-p 102 Mv		Vp-p 105 Mv	

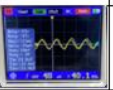
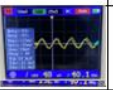
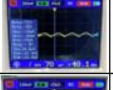
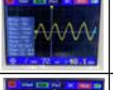
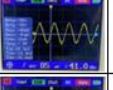
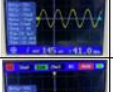
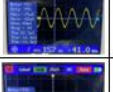
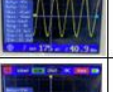
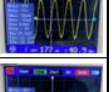
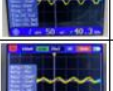
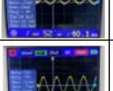
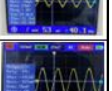
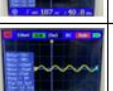
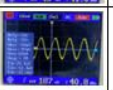
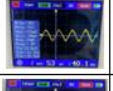
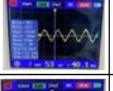
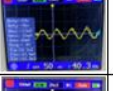
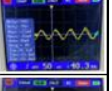
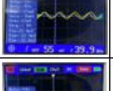
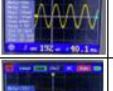
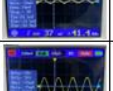
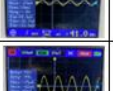
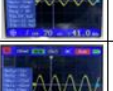
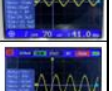
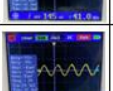
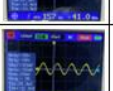
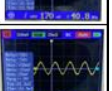
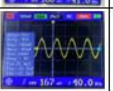
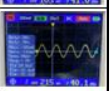
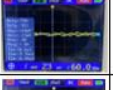
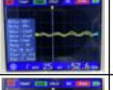
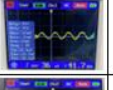
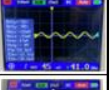
ตารางที่ 5 ตารางบันทึกข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่สะท้อนตัวอย่างขาว (ต่อ)

ตัวอย่างขาวที่	ความสูงของ เซนเซอร์	ค่าแอมพลิจูด							
		ไม่ถูกป้อน	รูป	ป้อน 4 วินาที	รูป	ป้อน 6 วินาที	รูป	ป้อน 14 วินาที	รูป
		(กดจอ)		(ต่อเนื่องทั้งหมด)		(หมด)		(เสร็จ)	
9	5 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 155 Mv		Vp-p 192 Mv		Vp-p 215 Mv	
	10 cm	Vp-p 33 Mv		Vp-p 45 Mv		Vp-p 48 Mv		Vp-p 50 Mv	
	15 cm	Vp-p 102 Mv		Vp-p 120 Mv		Vp-p 117 Mv		Vp-p 122 Mv	
	30 cm	Vp-p 58 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 50 Mv		Vp-p 53 Mv	
10	5 cm	Vp-p 25 Mv		Vp-p 120 Mv		Vp-p 180 Mv		Vp-p 210 Mv	
	10 cm	Vp-p 42 Mv		Vp-p 60 Mv		Vp-p 72 Mv		Vp-p 70 Mv	
	15 cm	Vp-p 100 Mv		Vp-p 110 Mv		Vp-p 120 Mv		Vp-p 120 Mv	
	30 cm	Vp-p 45 Mv		Vp-p 50 Mv		Vp-p 51 Mv		Vp-p 50 Mv	
11	5 cm	Vp-p 68 Mv		Vp-p 167 Mv		Vp-p 197 Mv		Vp-p 215 Mv	
	10 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 70 Mv		Vp-p 70 Mv	
	15 cm	Vp-p 145 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 165 Mv	
	30 cm	Vp-p 58 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 50 Mv		Vp-p 53 Mv	
12	5 cm	Vp-p 53 Mv		Vp-p 152 Mv		Vp-p 190 Mv		Vp-p 217 Mv	
	10 cm	Vp-p 33 Mv		Vp-p 45 Mv		Vp-p 48 Mv		Vp-p 50 Mv	
	15 cm	Vp-p 102 Mv		Vp-p 120 Mv		Vp-p 117 Mv		Vp-p 122 Mv	
	30 cm	Vp-p 58 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 50 Mv		Vp-p 53 Mv	

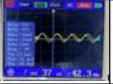
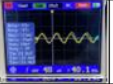
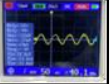
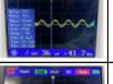
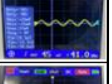
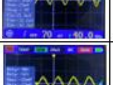
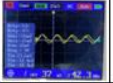
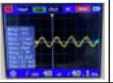
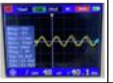
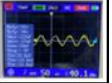
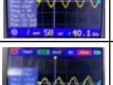
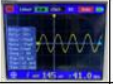
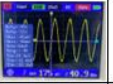
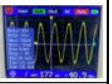
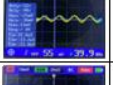
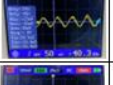
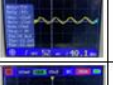
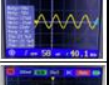
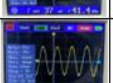
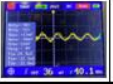
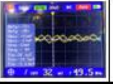
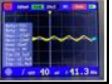
ตารางที่ 5 ตารางบันทึกข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่สะท้อนตัวอย่างขาว (ต่อ)

ตัวอย่างขาวที่	ความสูงของ เซนเซอร์	ค่าแอมพลิจูด							
		ไม่ถูกบ่ม	รูป	บ่ม 4 วัน	รูป	บ่ม 6 วัน	รูป	บ่ม 14 วัน	รูป
		(ขาว)		(คลองช้างหมุด)		(หมัด)		(เชียง)	
13	5 cm	Vp-p 56 Mv		Vp-p 155 Mv		Vp-p 192 Mv		Vp-p 217 Mv	
	10 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 48 Mv		Vp-p 48 Mv		Vp-p 50 Mv	
	15 cm	Vp-p 145 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 165 Mv	
	30 cm	Vp-p 90 Mv		Vp-p 91 Mv		Vp-p 90 Mv		Vp-p 90 Mv	
14	5 cm	Vp-p 53 Mv		Vp-p 137 Mv		Vp-p 185 Mv		Vp-p 215 Mv	
	10 cm	Vp-p 25 Mv		Vp-p 37 Mv		Vp-p 37 Mv		Vp-p 37 Mv	
	15 cm	Vp-p 122 Mv		Vp-p 117 Mv		Vp-p 120 Mv		Vp-p 102 Mv	
	30 cm	Vp-p 55 Mv		Vp-p 50 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 58 Mv	
15	5 cm	Vp-p 40 Mv		Vp-p 120 Mv		Vp-p 185 Mv		Vp-p 210 Mv	
	10 cm	Vp-p 25 Mv		Vp-p 36 Mv		Vp-p 45 Mv		Vp-p 45 Mv	
	15 cm	Vp-p 110 Mv		Vp-p 100 Mv		Vp-p 110 Mv		Vp-p 100 Mv	
	30 cm	Vp-p 50 Mv		Vp-p 53 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 52 Mv	
16	5 cm	Vp-p 55 Mv		Vp-p 127 Mv		Vp-p 197 Mv		Vp-p 217 Mv	
	10 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 36 Mv		Vp-p 37 Mv		Vp-p 36 Mv	
	15 cm	Vp-p 145 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 165 Mv	
	30 cm	Vp-p 52 Mv		Vp-p 55 Mv		Vp-p 55 Mv		Vp-p 58 Mv	

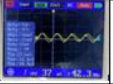
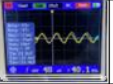
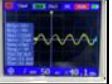
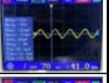
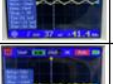
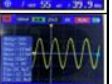
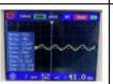
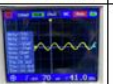
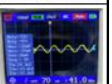
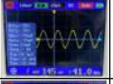
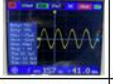
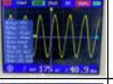
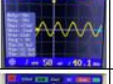
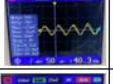
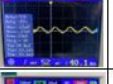
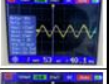
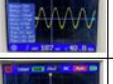
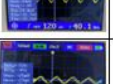
ตารางที่ 5 ตารางบันทึกข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่สะท้อนตัวอย่างขาว (ต่อ)

ตัวอย่างขาวที่	ความสูงของ เซนเซอร์	ค่าแอมพลิจูด							
		ไม่ถูกบ่ม	รูป	บ่ม 4 วันอาทิตย์	รูป	บ่ม 6 วันอาทิตย์	รูป	บ่ม 14 วันอาทิตย์	รูป
		(สีขาว)		(ค่อนข้างหนืด)		(หนืด)		(แข็ง)	
17	5 cm	Vp-p 26 Mv		Vp-p 110 Mv		Vp-p 192 Mv		Vp-p 210 Mv	
	10 cm	Vp-p 70 Mv		Vp-p 72 Mv		Vp-p 85 Mv		Vp-p 91 Mv	
	15 cm	Vp-p 145 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 175 Mv		Vp-p 177 Mv	
	30 cm	Vp-p 50 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 52 Mv	
18	5 cm	Vp-p 42 Mv		Vp-p 142 Mv		Vp-p 187 Mv		Vp-p 210 Mv	
	10 cm	Vp-p 36 Mv		Vp-p 36 Mv		Vp-p 45 Mv		Vp-p 52 Mv	
	15 cm	Vp-p 155 Mv		Vp-p 170 Mv		Vp-p 187 Mv		Vp-p 187 Mv	
	30 cm	Vp-p 52 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 50 Mv		Vp-p 50 Mv	
19	5 cm	Vp-p 55 Mv		Vp-p 152 Mv		Vp-p 192 Mv		Vp-p 217 Mv	
	10 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 70 Mv		Vp-p 70 Mv	
	15 cm	Vp-p 145 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 165 Mv		Vp-p 170 Mv	
	30 cm	Vp-p 95 Mv		Vp-p 100 Mv		Vp-p 102 Mv		Vp-p 105 Mv	
20	5 cm	Vp-p 70 Mv		Vp-p 167 Mv		Vp-p 195 Mv		Vp-p 215 Mv	
	10 cm	Vp-p 23 Mv		Vp-p 25 Mv		Vp-p 36 Mv		Vp-p 45 Mv	
	15 cm	Vp-p 70 Mv		Vp-p 76 Mv		Vp-p 80 Mv		Vp-p 81 Mv	
	30 cm	Vp-p 53 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 55 Mv		Vp-p 55 Mv	

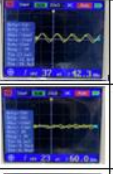
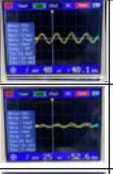
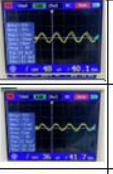
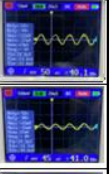
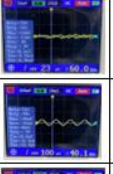
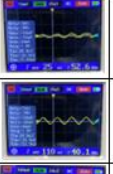
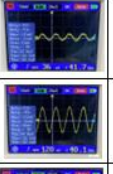
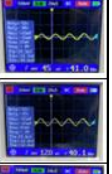
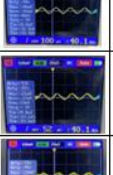
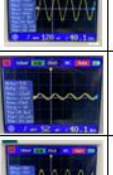
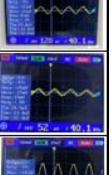
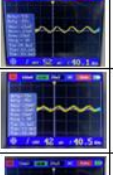
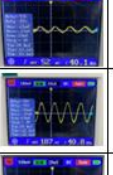
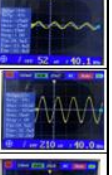
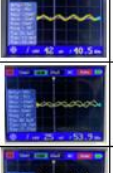
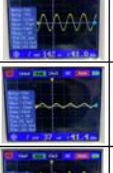
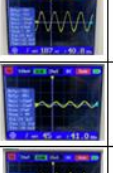
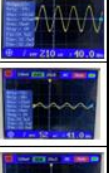
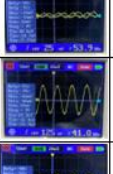
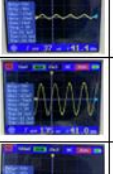
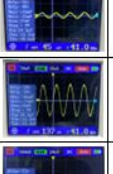
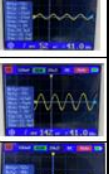
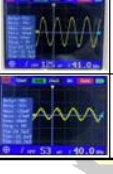
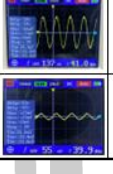
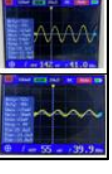
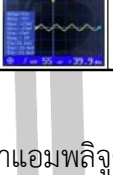
ตารางที่ 5 ตารางบันทึกข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่สะท้อนตัวอย่างขาว (ต่อ)

ตัวอย่างขาวที่	ความสูงของ เซนเซอร์	ค่าแอมพลิจูด							
		ไม่ถูกบ่ม	รูป	บ่ม 4 วินาที	รูป	บ่ม 6 วินาที	รูป	บ่ม 14 วินาที	รูป
		(สีขาว)		(ค่อนข้างหนืด)		(หนืด)		(แข็ง)	
21	5 cm	Vp-p 40 Mv		Vp-p 120 Mv		Vp-p 195 Mv		Vp-p 215 Mv	
	10 cm	Vp-p 23 Mv		Vp-p 25 Mv		Vp-p 36 Mv		Vp-p 45 Mv	
	15 cm	Vp-p 70 Mv		Vp-p 76 Mv		Vp-p 80 Mv		Vp-p 80 Mv	
	30 cm	Vp-p 53 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 55 Mv		Vp-p 52 Mv	
22	5 cm	Vp-p 55 Mv		Vp-p 137 Mv		Vp-p 185 Mv		Vp-p 215 Mv	
	10 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 48 Mv		Vp-p 48 Mv		Vp-p 50 Mv	
	15 cm	Vp-p 145 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 165 Mv	
	30 cm	Vp-p 58 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 50 Mv		Vp-p 53 Mv	
23	5 cm	Vp-p 56 Mv		Vp-p 137 Mv		Vp-p 185 Mv		Vp-p 210 Mv	
	10 cm	Vp-p 33 Mv		Vp-p 45 Mv		Vp-p 48 Mv		Vp-p 50 Mv	
	15 cm	Vp-p 145 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 175 Mv		Vp-p 177 Mv	
	30 cm	Vp-p 55 Mv		Vp-p 50 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 58 Mv	
24	5 cm	Vp-p 70 Mv		Vp-p 167 Mv		Vp-p 185 Mv		Vp-p 215 Mv	
	10 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 50 Mv		Vp-p 70 Mv		Vp-p 70 Mv	
	15 cm	Vp-p 125 Mv		Vp-p 135 Mv		Vp-p 137 Mv		Vp-p 142 Mv	
	30 cm	Vp-p 36 Mv		Vp-p 32 Mv		Vp-p 35 Mv		Vp-p 40 Mv	

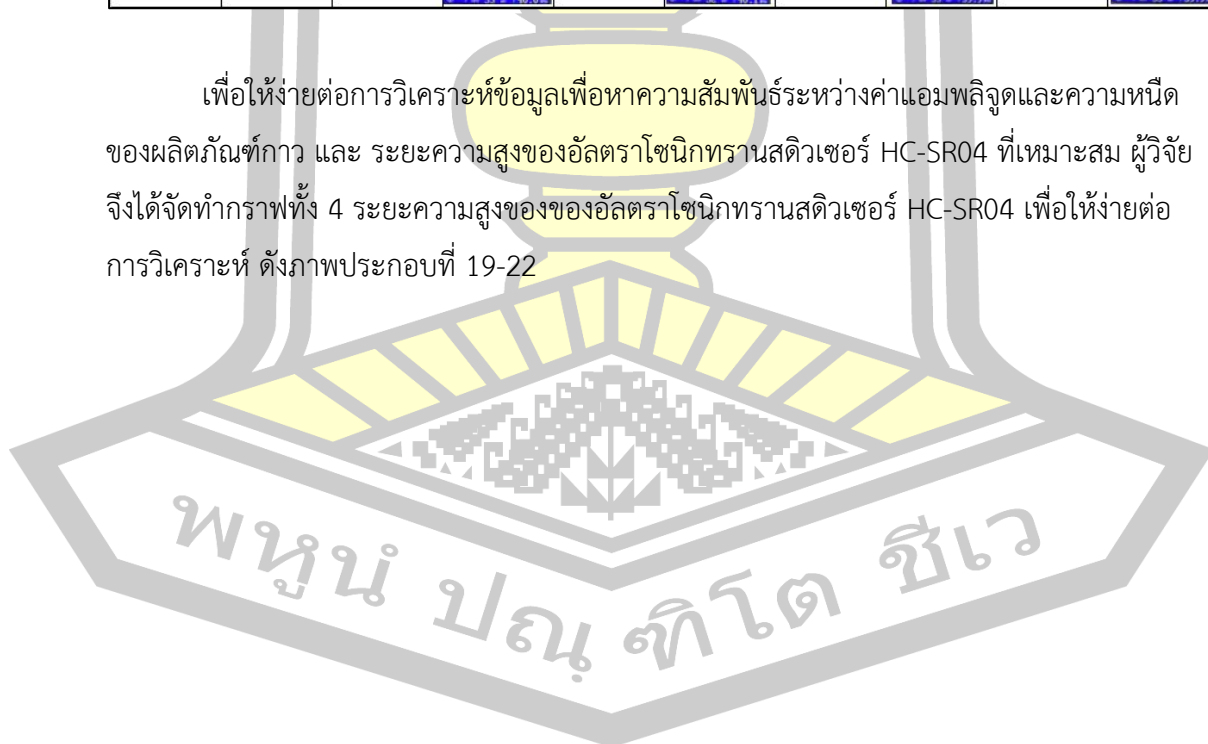
ตารางที่ 5 ตารางบันทึกข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่สะท้อนตัวอย่างขาว (ต่อ)

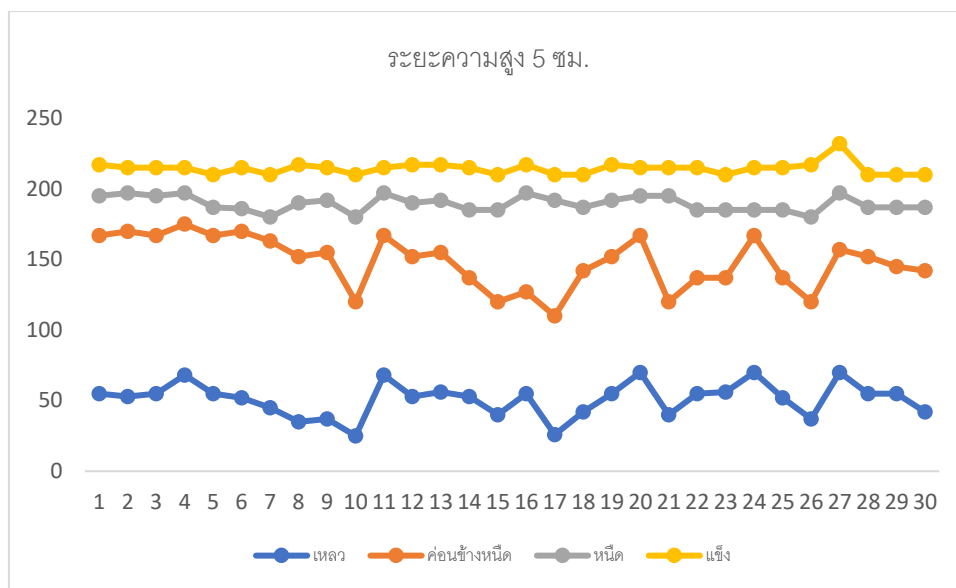
ตัวอย่างขาวที่	ความสูงของ เซนเซอร์	ค่าแอมพลิจูด							
		ไม่ถูกบ่ม	รูป	บ่ม 4 วันอาทิตย์	รูป	บ่ม 6 วันอาทิตย์	รูป	บ่ม 14 วันอาทิตย์	รูป
		(สีขาว)		(ค่อนข้างหนืด)		(หนืด)		(แข็ง)	
25	5 cm	Vp-p 52 Mv		Vp-p 137 Mv		Vp-p 185 Mv		Vp-p 215 Mv	
	10 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 70 Mv		Vp-p 70 Mv	
	15 cm	Vp-p 102 Mv		Vp-p 120 Mv		Vp-p 117 Mv		Vp-p 122 Mv	
	30 cm	Vp-p 53 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 55 Mv	
26	5 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 120 Mv		Vp-p 180 Mv		Vp-p 217 Mv	
	10 cm	Vp-p 23 Mv		Vp-p 36 Mv		Vp-p 53 Mv		Vp-p 45 Mv	
	15 cm	Vp-p 137 Mv		Vp-p 145 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 177 Mv	
	30 cm	Vp-p 48 Mv		Vp-p 55 Mv		Vp-p 58 Mv		Vp-p 58 Mv	
27	5 cm	Vp-p 70 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 197 Mv		Vp-p 232 Mv	
	10 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 70 Mv		Vp-p 70 Mv	
	15 cm	Vp-p 145 Mv		Vp-p 157 Mv		Vp-p 175 Mv		Vp-p 187 Mv	
	30 cm	Vp-p 58 Mv		Vp-p 50 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 53 Mv	
28	5 cm	Vp-p 55 Mv		Vp-p 152 Mv		Vp-p 187 Mv		Vp-p 210 Mv	
	10 cm	Vp-p 37 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 70 Mv		Vp-p 72 Mv	
	15 cm	Vp-p 102 Mv		Vp-p 120 Mv		Vp-p 117 Mv		Vp-p 122 Mv	
	30 cm	Vp-p 55 Mv		Vp-p 55 Mv		Vp-p 58 Mv		Vp-p 58 Mv	

ตารางที่ 5 ตารางบันทึกข้อมูลค่าแอมพลิจูดของคลื่นความถี่สะท้อนตัวอย่างขาว (ต่อ)

ตัวอย่างขาวที่	ความสูงของ เซนเซอร์	ค่าแอมพลิจูด							
		ไม่ถูกบ่ม	รูป	บ่ม 4 วินาที	รูป	บ่ม 6 วินาที	รูป	บ่ม 14 วินาที	รูป
		(สีขาว)		(ค่อนข้างหนืด)		(หนืด)		(แข็ง)	
29	5 cm	Vp-p 55 Mv		Vp-p 145 Mv		Vp-p 187 Mv		Vp-p 210 Mv	
	10 cm	Vp-p 23 Mv		Vp-p 25 Mv		Vp-p 36 Mv		Vp-p 45 Mv	
	15 cm	Vp-p 100 Mv		Vp-p 110 Mv		Vp-p 120 Mv		Vp-p 120 Mv	
	30 cm	Vp-p 52 Mv		Vp-p 55 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 52 Mv	
30	5 cm	Vp-p 42 Mv		Vp-p 142 Mv		Vp-p 187 Mv		Vp-p 210 Mv	
	10 cm	Vp-p 25 Mv		Vp-p 37 Mv		Vp-p 45 Mv		Vp-p 52 Mv	
	15 cm	Vp-p 125 Mv		Vp-p 135 Mv		Vp-p 137 Mv		Vp-p 142 Mv	
	30 cm	Vp-p 53 Mv		Vp-p 52 Mv		Vp-p 55 Mv		Vp-p 55 Mv	

เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืดของผลิตภัณฑ์ขาว และ ระยะเวลาสูงของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ที่เหมาะสม ผู้วิจัยจึงได้จัดทำกราฟทั้ง 4 ระยะเวลาสูงของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ดังภาพประกอบที่ 19-22





ภาพประกอบที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความถี่ของผลิตภัณฑ์กาวในระยะความสูงของของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 5 เซนติเมตร

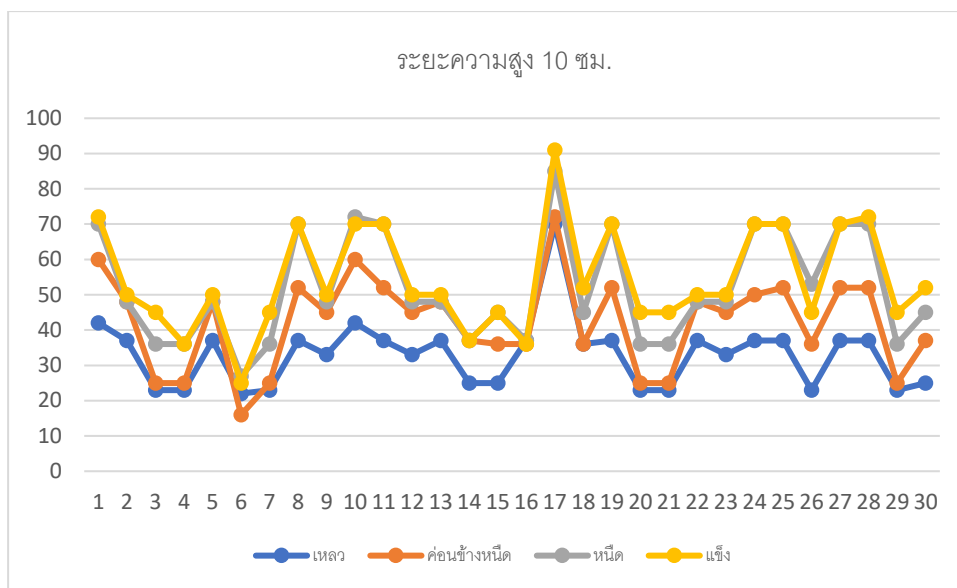
จากภาพประกอบที่ 19 ของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความถี่ของผลิตภัณฑ์กาวในระยะความสูงของของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 5 เซนติเมตร จากการวิเคราะห์พบว่า

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับต่ำมีค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 70 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่ 25 mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 51 mV

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับค่อนข้างหนืดค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 175 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่ 110 mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 148.3 mV

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับหนืดค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 197 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่ 180 mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 190.55 mV

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับแข็งค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 232 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่ 210 mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 214.367 mV



ภาพประกอบที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว
ในระยะความสูงของของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 10 เซนติเมตร

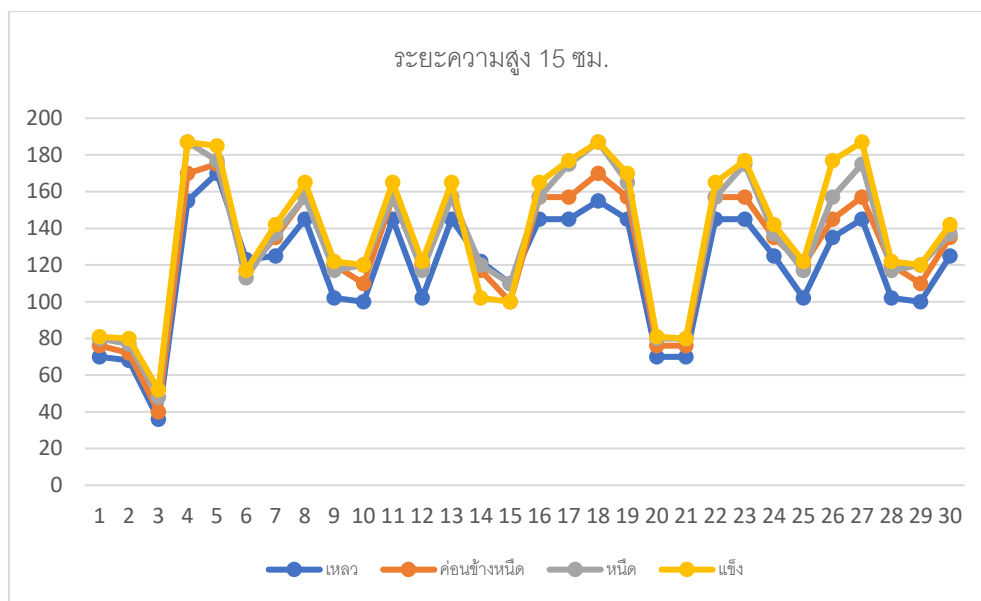
จากภาพประกอบที่ 20 ของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืด
ของผลิตภัณฑ์กาวในระยะความสูงของของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 10 เซนติเมตร
จากการวิเคราะห์พบว่า

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับเหลืองมีค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 70 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่ 22
mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 33.5556 mV

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับค่อนข้างหนืดค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 72 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่
16 mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 42.62962963 mV

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับหนืดค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 85 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่ 27
mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 52.11111 mV

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับแข็งค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 91 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่ 25 mV
และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 54.037 mV



ภาพประกอบที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืดของผลิตภัณฑ์กาวในระยะความสูงของของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 15 เซนติเมตร

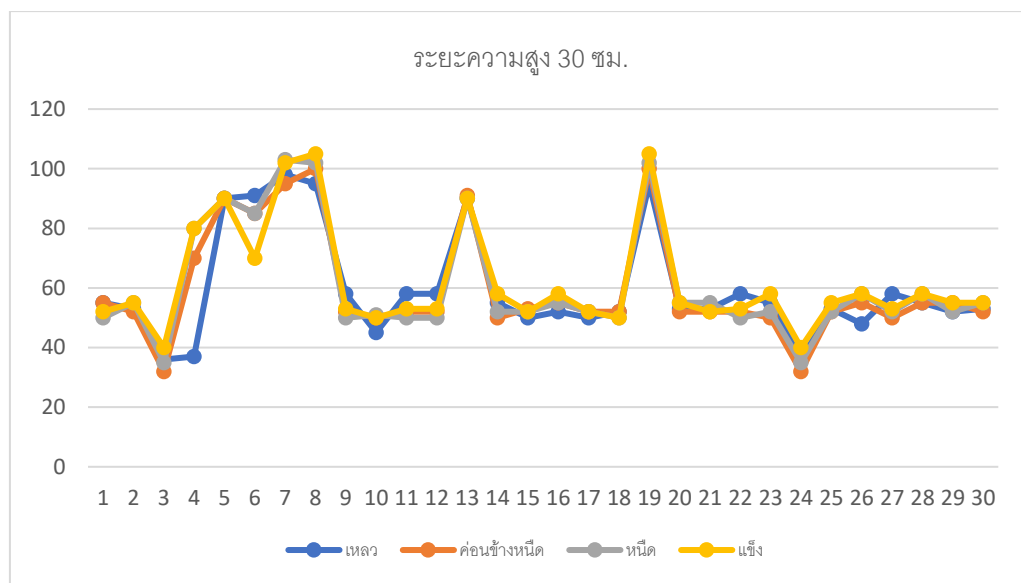
จากภาพประกอบที่ 21 ของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืดของผลิตภัณฑ์กาวในระยะความสูงของของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 15 เซนติเมตรจากการวิเคราะห์พบว่า

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับเหลวมีค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 170 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่ 36 mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 119.067 mV

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับค่อนข้างหนืดค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 175 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่ 40 mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 128.4 mV

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับหนืดค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 187 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่ 48 mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 133.6667 mV

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับแข็งค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 187 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่ 52 mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 137.3 mV



ภาพประกอบที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความถี่ของผลิตภัณฑ์กาว
ในระยะความสูงของของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 30 เซนติเมตร

จากภาพประกอบที่ 22 ของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความถี่
ของผลิตภัณฑ์กาวในระยะความสูงของของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 30 เซนติเมตร
จากการวิเคราะห์พบว่า

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับต่ำมีค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 98 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่ 36
mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 59.7333 mV

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับตรงข้ามค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 100 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุด
อยู่ที่ 32 mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 59.83333333 mV

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับกึ่งกลางค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 103 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่ 35
mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 60.93333 mV

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับสูงค่าแอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ 105 mV ค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่ 40
mV และค่าแอมพลิจูดเฉลี่ยอยู่ที่ 62 mV

4.1.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดกับความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว และ ระยะความสูงของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ที่เหมาะสม พบว่าระยะความสูงของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ในระยะ 5 เซนติเมตร สามารถจำแนกความหนืดของผลิตภัณฑ์กาวทั้ง 4 ระดับความหนืดคือ เหลว หนืด ค่อนข้างหนืด แข็ง ได้ดีที่สุดโดยมีค่าความแม่นยำอยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งข้อมูลค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์กาวทั้ง 4 ระดับ จะแยกตัวกันเป็นกลุ่มได้อย่างชัดเจน ดังภาพภาพประกอบที่ 15 ค่าแอมพลิจูดที่ได้จากผลิตภัณฑ์กาวในระดับเหลวจะอยู่ในช่วง 25 mV ถึง 70 mV ค่าแอมพลิจูดที่ได้จากผลิตภัณฑ์กาวในระดับค่อนข้างหนืดจะอยู่ในช่วง 110 mV ถึง 175 mV ค่าแอมพลิจูดที่ได้จากผลิตภัณฑ์กาวในระดับหนืดจะอยู่ในช่วง 180 mV ถึง 197 mV ค่าแอมพลิจูดที่ได้จากผลิตภัณฑ์กาวในระดับแข็งจะอยู่ในช่วง 210 mV ถึง 232 mV ซึ่งสรุปได้ว่าอุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรล จะสามารถจำแนกและวัดความหนืดได้ดีที่สุดในระยะ 5 เซนติเมตร ระหว่างผลิตภัณฑ์กาวกับอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ HC-SR04

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาตทดลองได้ โดยใช้เครื่อง Digital Force Gauge IMA-DST-1000N กับค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดความหนืดจากผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างด้วยอุปกรณ์วัดความหนืด

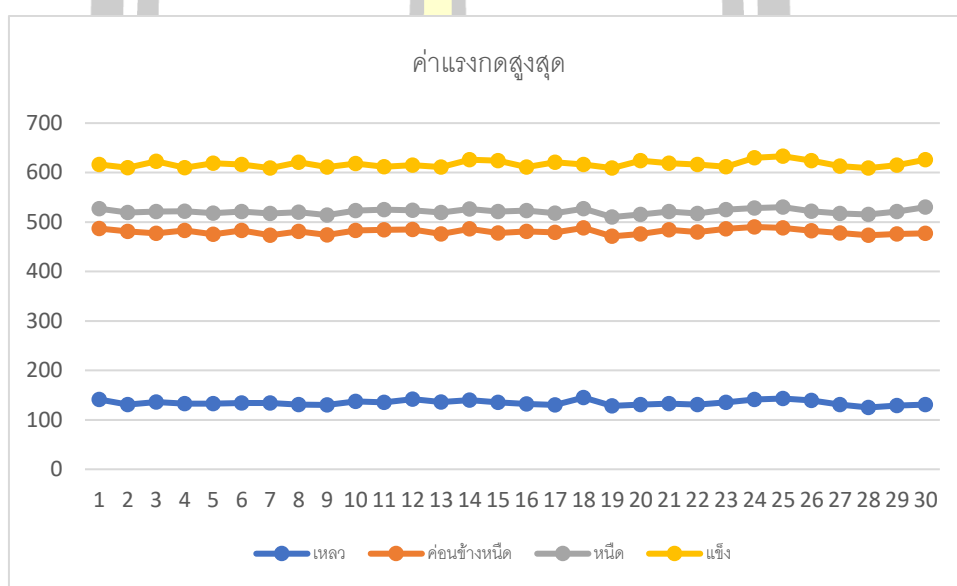
ในหัวข้อที่ 4.2 ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาตทดลองได้โดยใช้เครื่อง Digital Force Gauge IMA-DST-1000N กับค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดจากผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างทั้ง 30 ตัวอย่างด้วยอุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรล ในการทดลองจะนำผลิตภัณฑ์กาว รุ่น A ปริมาณ 5 กรัม ใส่ภาตทดลองขนาด 10X6X5 เซนติเมตร เพื่อนำไปวัดค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาตทดลองได้โดยใช้เครื่อง Digital Force Gauge IMA-DST-1000N โดยผลิตภัณฑ์กาวทั้ง 30 ตัวอย่างจะถูกนำไปบ่มด้วยแสงยูวีก่อนวัดค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาตทดลองทุกครั้ง ผลิตภัณฑ์กาวแต่ละตัวอย่างจะถูกบ่มทั้งสิ้น 4 ครั้ง ที่มีความหนืดที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ เหลว ค่อนข้างหนืด หนืด แข็ง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะ

กับถาดทดลองได้โดยใช้เครื่อง Digital Force Gauge IMA-DST-1000N กับค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดความหนืดจากผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างด้วยอุปกรณ์วัดความหนืด ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 6 ตารางค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับถาดทดลองได้โดยใช้เครื่อง Digital Force Gauge IMA-DST-1000N

ตัวอย่างกาวที่	ค่าแรงกดสูงสุด (N)			
	ไม่ถูกบ่ม (เหลว)	บ่ม 4 วินาที (ค่อนข้างหนืด)	บ่ม 6 วินาที (หนืด)	บ่ม 14 วินาที (แข็ง)
1	141 N	487 N	527 N	616 N
2	131 N	481 N	519 N	610 N
3	136 N	477 N	521 N	623 N
4	133 N	483 N	522 N	610 N
5	133 N	475 N	518 N	619 N
6	134 N	483 N	521 N	616 N
7	134 N	473 N	517 N	609 N
8	131 N	481 N	520 N	621 N
9	130 N	474 N	514 N	611 N
10	137 N	483 N	523 N	618 N
11	135 N	484 N	525 N	612 N
12	142 N	485 N	524 N	615 N
13	136 N	476 N	519 N	611 N
14	140 N	486 N	526 N	626 N
15	135 N	478 N	521 N	624 N
16	132 N	481 N	523 N	611 N
17	130 N	479 N	518 N	621 N
18	145 N	488 N	527 N	616 N
19	128 N	471 N	510 N	609 N
20	131 N	476 N	515 N	624 N
21	133 N	484 N	521 N	619 N
22	131 N	480 N	517 N	616 N
23	135 N	486 N	525 N	612 N
24	141 N	490 N	528 N	630 N
25	143 N	488 N	530 N	633 N
26	139 N	482 N	522 N	624 N
27	131 N	478 N	517 N	613 N
28	125 N	473 N	515 N	609 N
29	129 N	476 N	521 N	615 N
30	131 N	477 N	530 N	626 N

จากตารางที่ 6 ตารางค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาดทดลองได้ โดยใช้เครื่อง Digital Force Gauge IMA-DST-1000N เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาดทดลองได้โดยใช้เครื่อง Digital Force Gauge IMA-DST-1000N กับค่าแอมพลิฟายด์ที่ได้จากการวัดความหนืดจากผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างด้วยอุปกรณ์วัดความหนืด ผู้วิจัยจึงได้จัดทำกราฟค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาดทดลองได้ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ดังภาพประกอบที่ 23



ภาพประกอบที่ 23 กราฟค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาดทดลองได้

จากภาพประกอบที่ 23 กราฟค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาดทดลองได้ จากการวิเคราะห์พบว่า

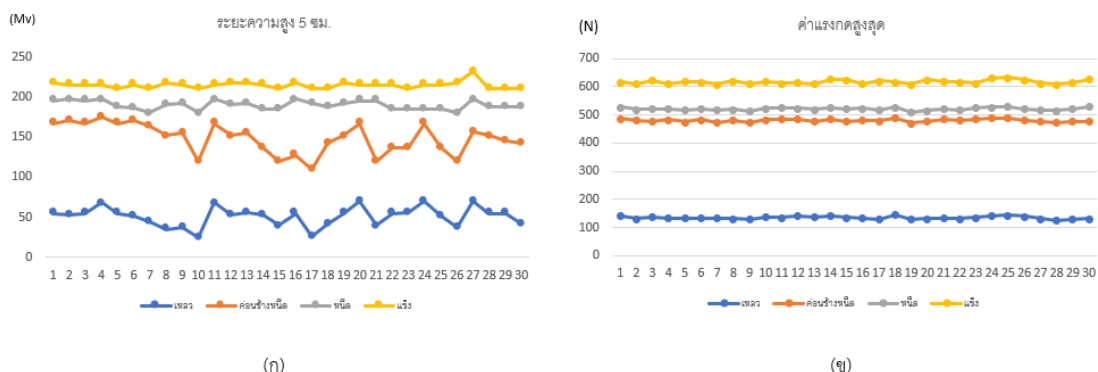
ผลิตภัณฑ์กาวในระดับเหลวมีค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาดทดลองได้อยู่ที่ 125 N ถึง 145 N โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 134.4 N

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับค่อนข้างหนืดมีค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาดทดลองได้อยู่ที่ 471 N ถึง 490 N โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 480.5 N

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับหนืดมีค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาดทดลองได้อยู่ที่ 510 N ถึง 530 N โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 520.5 N

ผลิตภัณฑ์กาวในระดับแข็งมีค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาดทดลองได้อยู่ที่ 609 N ถึง 633 N โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 617.3 N

จากนั้นผู้วิจัยจึงได้นำกราฟค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาดทดลองได้โดยใช้ Digital Force Gauge IMA-DST-1000N มาเปรียบเทียบกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืดของผลิตภัณฑ์กาวจากอุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่ป่นด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรล ในระยะความสูงของของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะที่สามารถจำแนกความหนืดของผลิตภัณฑ์กาวได้ดีที่สุด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาดทดลองได้โดยใช้เครื่อง Digital Force Gauge IMA-DST-1000N กับค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดความหนืดจากผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างด้วยอุปกรณ์วัดความหนืดโดยมีรายละเอียด ดังภาพประกอบที่ 24



ภาพประกอบที่ 24 การเปรียบเทียบระหว่าง (ก) กราฟค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาดทดลองได้โดยใช้ Digital Force Gauge IMA-DST-1000N และ (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืดของผลิตภัณฑ์กาวจากอุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่ป่นด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรล

จากภาพประกอบที่ 24 พบว่ากราฟค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาดทดลองได้โดยใช้ Digital Force Gauge IMA-DST-1000N และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความหนืดของผลิตภัณฑ์กาวจากอุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่ป่น

ด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรลพบว่ารูปร่างของกราฟจากผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างทั้งหมด มีการแยกตัวกันของความหนืดที่แตกต่างกันทั้ง 4 ระดับความหนืดคือ เหลว ค่อนข้างหนืด หนืด แข็ง ได้อย่างชัดเจนและมีรูปร่างของกราฟที่คล้ายคลึงกัน

4.2.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาตทดลองได้โดยใช้เครื่อง Digital Force Gauge IMA-DST-1000N กับค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดความหนืดโดยอุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรลพบว่ากราฟทั้งสองมีความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้ในการจำแนกความหนืดนั้น มีรูปร่างของกราฟที่คล้ายคลึงกันโดยมีการแยกตัวกันของความหนืดที่แตกต่างกันทั้ง 4 ระดับความหนืดคือ เหลว ค่อนข้างหนืด หนืด แข็ง ได้อย่างชัดเจน



บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการทดลองและนำเสนออุปกรณ์วัดความหนืดของกาเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวี สำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรล ดังแสดงในบทที่ 4 ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการศึกษาและทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 เป็นการนำเสนอการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดกับความหนืดของผลิตภัณฑ์กาเร และระยะความสูงของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ที่เหมาะสม และส่วนที่ 2 เป็นการนำเสนอการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาเรที่สามารถยึดเกาะกับภาตทดลองได้โดยใช้เครื่อง กับค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดความหนืดจากผลิตภัณฑ์กาเรตัวอย่างด้วยอุปกรณ์วัดความหนืด สามารถสรุปและอภิปรายผล และมีข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยดังนี้

5.1 สรุปและอภิปรายผล

5.1.1 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดกับความหนืดของผลิตภัณฑ์กาเร และระยะความสูงของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ที่เหมาะสม จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดกับความหนืดของผลิตภัณฑ์กาเร และ ระยะความสูงของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ที่เหมาะสม พบว่าระยะความสูงของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ในระยะ 5 เซนติเมตร สามารถจำแนกความหนืดของผลิตภัณฑ์กาเรทั้ง 4 ระดับความหนืดคือ เหลว หนืด ค่อนข้างหนืด แข็ง ได้ดีที่สุดโดยมีค่าความแม่นยำอยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งข้อมูลค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์กาเรทั้ง 4 ระดับ จะแยกตัวกันเป็นกลุ่มได้อย่างชัดเจน ดังภาพประกอบที่ 15 ค่าแอมพลิจูดที่ได้จากผลิตภัณฑ์กาเรในระดับเหลวจะอยู่ในช่วง 25 mV ถึง 70 mV ค่าแอมพลิจูดที่ได้จากผลิตภัณฑ์กาเรในระดับค่อนข้างหนืดจะอยู่ในช่วง 110 mV ถึง 175 mV ค่าแอมพลิจูดที่ได้จากผลิตภัณฑ์กาเรในระดับหนืดจะอยู่ในช่วง 180 mV ถึง 197 mV ค่าแอมพลิจูดที่ได้จากผลิตภัณฑ์กาเรในระดับแข็งจะอยู่ในช่วง 210 mV ถึง 232 mV ซึ่งสรุปได้ว่าอุปกรณ์วัดความหนืดของกาเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรล จะสามารถจำแนกและวัดความหนืดได้ดีที่สุดในระยะ 5 เซนติเมตร ระหว่างผลิตภัณฑ์กาเรกับอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04

5.1.2 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาตทดลองได้โดยใช้เครื่อง Digital Force Gauge IMA-DST-1000N กับค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดความหนืดจากผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างด้วยอุปกรณ์วัดความหนืด จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดสูงสุดของผลิตภัณฑ์กาวที่สามารถยึดเกาะกับภาตทดลองได้โดยใช้เครื่อง Digital Force Gauge IMA-DST-1000N กับค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดความหนืดโดยอุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรลพบว่ากราฟทั้งสองมีความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้ในการจำแนกความหนืดนั้น มีรูปร่างของกราฟที่คล้ายคลึงกันโดยมีการแยกตัวกันของความหนืดที่แตกต่างกันทั้ง 4 ระดับความหนืดคือ เหลว ค่อนข้างหนืด หนืด แข็ง ได้อย่างชัดเจน สรุปได้ว่าอุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรลสามารถนำมาใช้ตรวจสอบความหนืดเพื่อลดความเสียหายที่เกิดจากความผิดพลาดในขั้นตอนการตรวจสอบความหนืดของกาว เทคนิคการวัดที่นำเสนอนี้ใช้เวลาการวัดสั้นโดยเฉลี่ยเพียง 5.2-8.5 วินาทีต่อการทดสอบแต่ละครั้ง ในขณะที่ต้นทุนของเซ็นเซอร์น้อยกว่า 6.39 USD และใช้พลังงานน้อยกว่า 0.075W และสามารถใช้สำหรับการทดสอบการบ่มกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวี 100% สำหรับการกระบวนการประกอบขนาดใหญ่ในกระบวนการผลิตเลนส์ได้เป็นอย่างดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การวัดความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว โดยการใช้อุปกรณ์วัดความหนืดของกาวเรซินอะคริลิกที่บ่มด้วยรังสียูวีสำหรับกระบวนการประกอบเลนส์กับบาร์เรลควรให้ภาตทดลองอยู่กับที่เสมอ เพราะการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งภาตทดลองจะมีผลต่อค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว

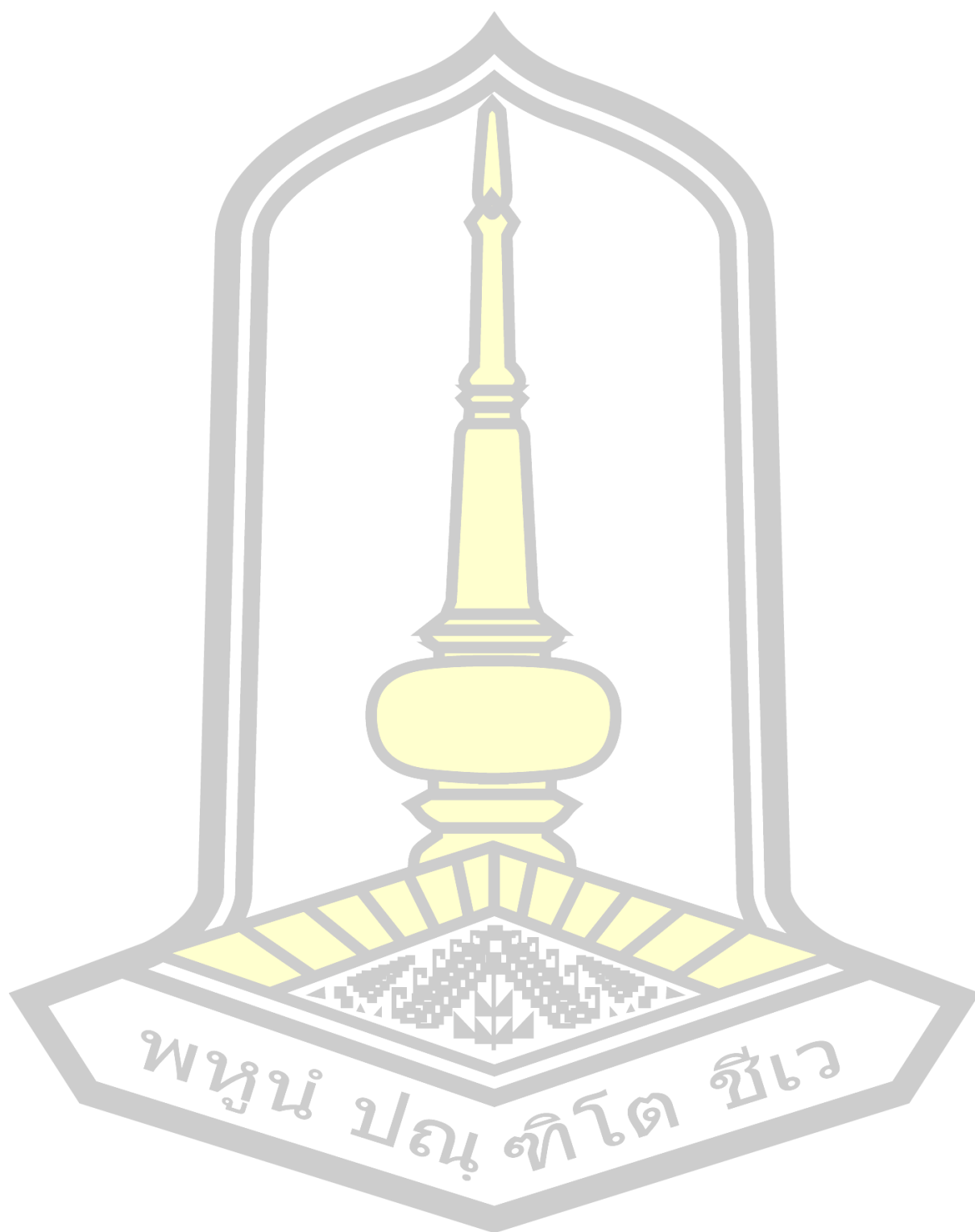
5.2.2 การใช้ภาตทดลองควรใช้ภาตทดลองที่มีขนาดเท่าเดิมทุกครั้งเพราะขนาดของภาตทดลองมีผลต่อระดับความสูงของผลิตภัณฑ์กาวในภาตทดลองกับของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 ซึ่งจะมีผลต่อค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว

5.2.3 ภาตทดลองไม่แนะนำให้ใช้ขนาดเล็กจนเกินไปเนื่องจากคลื่นอัลตราโซนิกส์ที่ถูกปล่อยมาจากอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ HC-SR04 มีการปล่อยคลื่นที่มีลักษณะเป็นวงกว้าง ซึ่งจะทำให้คลื่นไปกระทบกับสิ่งอื่น ซึ่งจะทำให้มีผลต่อค่าแอมพลิจูดที่ได้จากการวัดความหนืดของผลิตภัณฑ์กาว

บรรณานุกรม

1. Qadri, T., et al., Comparative evaluation of apple juice concentrate and spray dried apple powder for nutritional, antioxidant and rheological behaviour. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 2022. 14(2): p. 74-85.
2. Hoxha, R., Y. Evstatieva, and D. Nikolova, Physicochemical, Rheological, and Sensory Characteristics of Yogurt Fermented by Lactic Acid Bacteria with Probiotic Potential and Bioprotective Properties. *Foods*, 2023. 12(13): p. 2552.
3. Shimohigashi, Y., et al., Receptor-mediated specific biological activity of a β -amyloid protein fragment for NK-1 substance P receptors. *Biochemical and biophysical research communications*, 1993. 193(2): p. 624-630.
4. เจือจันทร์, อ., ม. นิยมเหมาะ, and จ. สายน้อยยาว. การ ทดแทน ไขมัน บาง ส่วน ด้วย เนื่อ ไขมันเตส สี่ สัม ใน ผลิตภัณฑ์ น้ำ สลัด ชั้น เพื่อ สุขภาพ. in *Science, Technology, and Social Sciences Procedia*. 2022.
5. Li, P., et al., Analysis of viscosity and composition properties for crumb rubber modified asphalt. *Construction and Building Materials*, 2018. 169: p. 638-647.
6. Puspita, W., H. Puspasari, and N.A. Restanti, Formulation And Physical Properties Test Of Spray Gel From Ethanol Extract Of Buas Buas Leaf (*Premna Serratifolia* L.). *Jurnal Ilmiah Farmako Bahari*, 2020. 11(2): p. 145-152.
7. Leeb MH600 datasheet. <https://www.voake.com/product/mitech-mh600>.
8. Geleta, B.T. and J.-Y. Heo, Variation of Fruit Characteristics and Antioxidant Properties Among Ten Apple Cultivars Grown in Two Different High-Latitude Regions of South Korea. *Erwerbs-Obstbau*, 2023: p. 1-10.
9. IMADA FB-PA datasheet. <https://www.indomultimeter.com/Pdf/Imada-FB-FS-MF-Brochure.pdf>.
10. NDT RHL-TH130 datasheet. <https://www.tribotechindia.com/pdf/RHL-TH130.pdf>.
11. ผล, อ.น. and น.ด. มณีรัตน์, เครื่อง คัด แยก โลหะ โดย ใช้ คลื่น อัล ต ร้า โซนิค. *Ladkrabang Engineering Journal*, 2017. 34(2): p. 16-22.
12. กลาง, เ.ก.ฤ.ษ., ส.ช.แ. กล้า, and ว.โ. เจริญ, เครื่อง วัด ระยะ ทาง ด้วย คลื่น อัล ต ร้า โซ นิค.

13. รูปคลื่นแอมพลิจูด. <http://www.digitalschool.club/digitalschool>.
14. สมบูรณ์, ส.พ.ผ.ด.อ., อิทธิพล ของ ตัว ริเริ่ม ปฏิกริยา เชน แสง และ การ กระตุ้น ด้วย รั้งสี อัลตราไวโอเลต ที่ มี ต่อ สมบัติ ของ วัสดุ คอม โพ สิต อี พี อก ซี. มหาวิทยาลัย เทคโนโลยี ราช มงคล ธัญบุรี. คณะ วิศวกรรม ศา ส สด ร. สาขา วิชา วิศวกรรม วัสดุ.
15. วาณิช, ร.พ.พ.พ.ล. and เอ.พ.ช.ล. ลี, ความ เป็น ธรรมชาติ ของ เสียง สังเคราะห์: กรณี ศึกษา เปรียบเทียบ เชน จิต วิสัย ด้วย การ ประยุกต์ ใช้ วิธี การ ประเมิน แบบ ACR ระหว่าง Siri และ Google Translate ด้วย เนื้อหา ข่าว: Naturalness of Synthesized Speech: A Subjective-Comparative Study Utilizing ACR Listening-Opinion Tests between Siri and Google Translate Using News Content. วารสาร วิทยาศาสตร์ บุรพา, 2022. 27(1): p. 361-377.
16. มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน. <https://niningmimint.wordpress.com>.
17. การแทรกสอดของคลื่นเสียง <http://mang0236.blogspot.com>.
18. การหักเหของคลื่นเสียง <https://reflec-reflac.blogspot.com>.
19. การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง. <https://www.scimath.org>.
20. Marston, R.M., 110 integrated circuit projects for the home constructor. 2016: Elsevier.
21. Kamal, A.M., S.H. Hemel, and M.U. Ahmad. Comparison of linear displacement measurements between a mems accelerometer and Hc-Sr04 low-cost ultrasonic sensor. in 2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT). 2019. IEEE.
22. Durakovskiy, A., L. Kessarinskiy, and E. Simakhin. Detection of compromising radiation from modern data transfer interfaces using the example of high definition multimedia interface. in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. IOP Publishing.
23. Fylstra, D., et al., Design and use of the Microsoft Excel Solver. Interfaces, 1998. 28(5): p. 29-55.
24. Digital Force Gauge IMA-DST-1000N datasheet. https://www.forcegauge.net/pdf/dsvdst_e.pdf.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นาย นครินทร์ ทองระอา
วันเกิด 01 มีนาคม 2543
สถานที่เกิด จังหวัดจันทบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน 55 หมู่ 5 ต. สำนักท้อน อ.บ้านฉาง จ.ระยอง 21130
ประวัติการศึกษา
พ.ศ. 2561 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาเครื่องมือกล
วิทยาลัยเทคนิคมาบตาพุด
พ.ศ. 2563 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาเทคนิคการผลิต
วิทยาลัยเทคนิคระยอง
พ.ศ. 2565 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมปฏิบัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
พ.ศ. 2567 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
และคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูน ปณ ภัโต ชีเว