

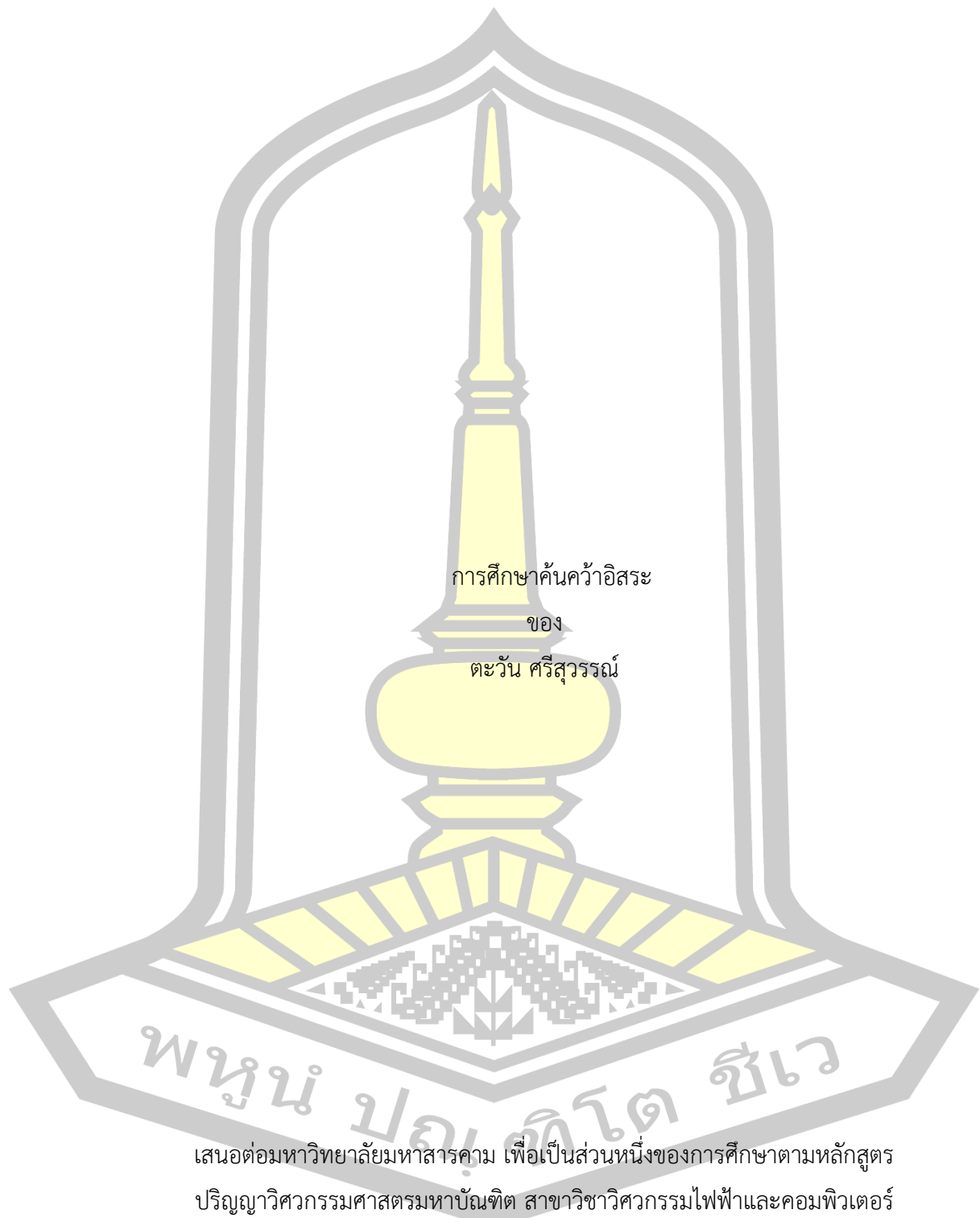
การศึกษาเทคนิคดฟองอากาศในเนื้อกวจากกระบวนการประกอบเลนส์กล้อง

การศึกษาค้นคว้าอิสระ  
ของ  
ตะวัน ศรีสุวรรณ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
พฤษภาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การศึกษาเทคนิคลดฟองอากาศในเนื้อกวจากกระบวนการประกอบเลนส์กล้อง

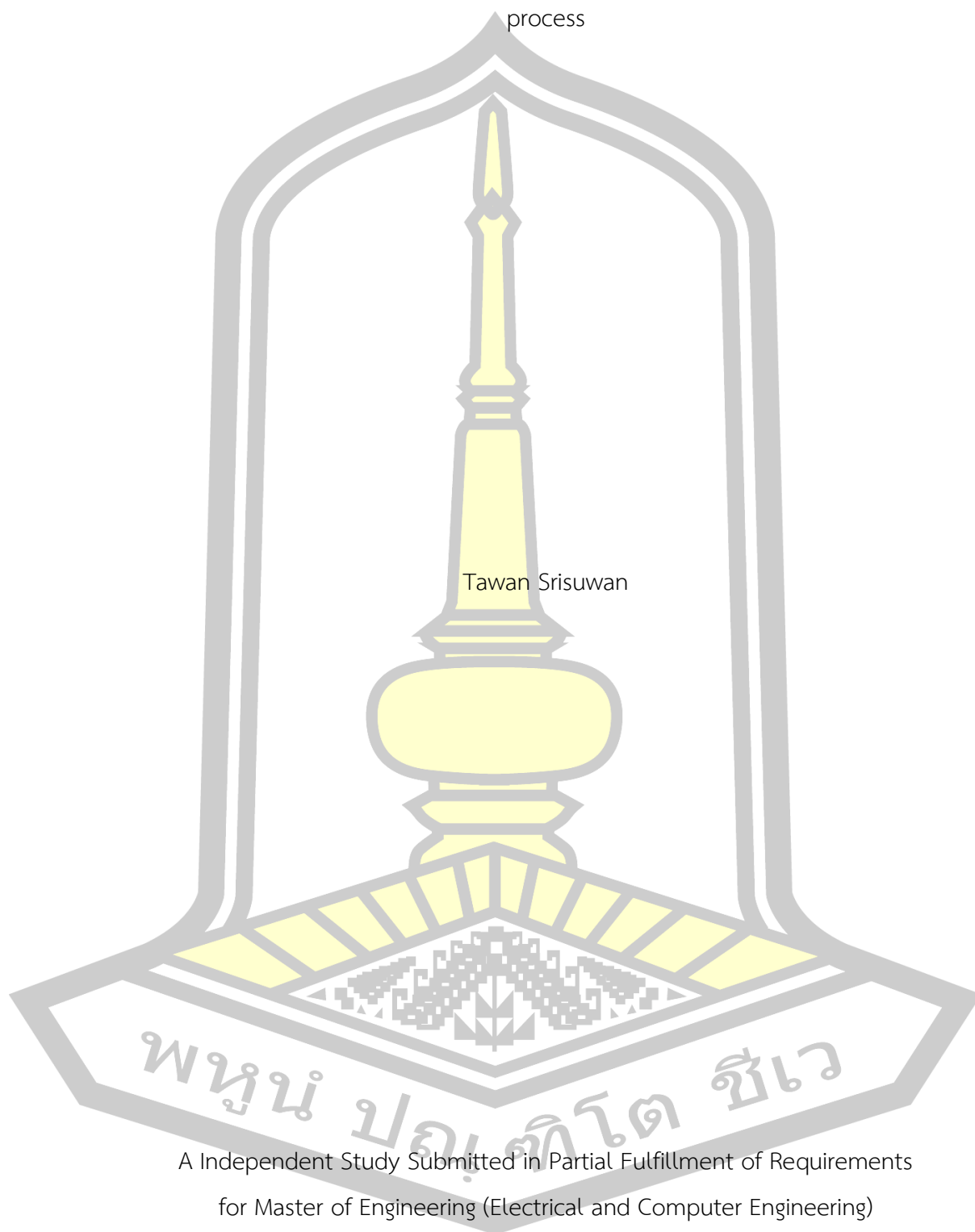


เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

พฤษภาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

A study of air bubble reduction technique in glue from the camera lens assembly  
process



Tawan Srisuwan

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

May 2024

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ ได้พิจารณาการศึกษาค้นคว้าอิสระของนาย  
ตะวัน ศรีสุวรรณ แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรม  
ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. สมชาติ โสณะแสง )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อ. ดร. ญัฐพล ไชยดวงศรี )

กรรมการ

(รศ. ดร. นิวัตร อังควิศิฐพันธ์ )

กรรมการ

(อ. ดร. ณรงค์กรณ์ อุทาพิทย์ )

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย  
มหาสารคาม

(รศ. ดร. จักรมาส เลาหวนิช )

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การศึกษาเทคนิคลดฟองอากาศในเนื้อกาวจากกระบวนการประกอบเลนส์กล้อง  
 ผู้วิจัย ตะวัน ศรีสุวรรณ  
 อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. ญัฐพล ไชยดวงศรี  
 ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
 มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2567

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาเทคนิคหาวิธีการลดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวชนิด A ในกระบวนการประกอบเลนส์ถ่ายภาพ โดยใช้หลักการประมวลผลจากภาพมาตรวจวัดจำนวนฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวชนิด A โดยทดลองการลดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวชนิด A ได้ทั้งหมด 4 เทคนิค คือ 1 ทดสอบจากเครื่อง bubble eliminator M/C ใช้หลักแรงเหวี่ยงลดทอนให้เนื้อกาวแตกตัว ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ที่ความเร็ว 2800 ต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งจะนำค่าจำนวนผลของฟองอากาศนี้ มาเป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบ 2 เทคนิคลูกสูบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า ทำงานร่วมกับเครื่องเติมกาวอัตโนมัติ ที่ความเร็ว 130 รอบต่อนาที 3 เทคนิคลูกสูบมอเตอร์สันไฟฟ้า ทำงานร่วมกับเครื่องเติมกาวอัตโนมัติ แรงดัน 15500 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นวิธีการลดฟองอากาศในเนื้อกาวที่ดีที่สุด 4 เทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 5 มุมจากแกนหมุน ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยมีมุมมองเสาเหวี่ยงดังนี้ 1 มุม 0 องศาจากแกนหมุน 2 มุม 20 องศาจากแกนหมุน 3 มุม 45 องศาจากแกนหมุน 4 มุม 60 องศาจากแกนหมุน 5 มุม 90 องศาจากแกนหมุน และแบ่งระยะเวลาในการตรวจวัดฟองอากาศได้ 3 ระยะ คือ 5 นาที 10 นาที และ 15 นาที ทำงานด้วยความเร็วมอเตอร์ 480 รอบต่อนาที โดยทั้ง 5 มุมองศานี้ มุม 45 องศา ระยะ 15 นาที มีผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

คำสำคัญ : การลดฟองอากาศในเนื้อกาว, มุมองศาแรงเหวี่ยง, ลูกสูบเกลียวหมุน, ลูกสูบมอเตอร์สัน

พูน ปณ จิต ชีวะ

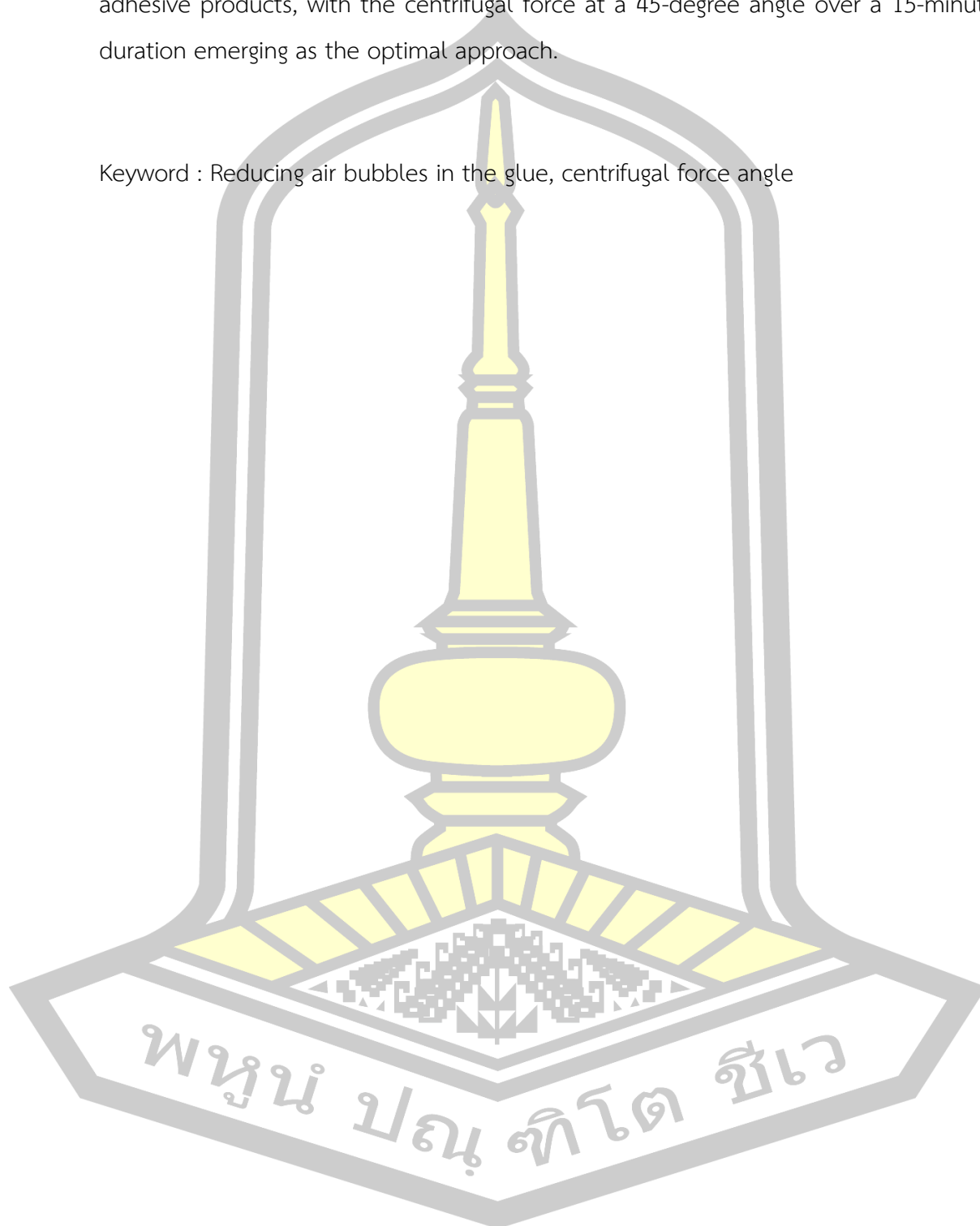
|                   |                                                                                         |              |                                     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------|
| <b>TITLE</b>      | A study of air bubble reduction technique in glue from the camera lens assembly process |              |                                     |
| <b>AUTHOR</b>     | Tawan Srisuwan                                                                          |              |                                     |
| <b>ADVISORS</b>   | Nuttapon Chaiduangstri , Ph.D.                                                          |              |                                     |
| <b>DEGREE</b>     | Master of Engineering                                                                   | <b>MAJOR</b> | Electrical and Computer Engineering |
| <b>UNIVERSITY</b> | Maharakham University                                                                   | <b>YEAR</b>  | 2024                                |

### ABSTRACT

This study aimed to explore effective techniques for minimizing air bubbles in Type A adhesive products utilized in the assembly of photographic lenses. Employing image processing methods to quantify air bubble presence, four distinct approaches were evaluated: Bubble Eliminator M/C Test: Utilizing a bubble eliminator machine, this method relies on centrifugal force applied to the adhesive tube, causing the adhesive to disperse. An electric motor drives the process at 2800 revolutions per minute (RPM) for a duration of 15 minutes. The resulting air bubble count serves as the benchmark for comparison. Electric Motor Spiral Piston Technique: This technique involves an electric motor-driven screw pump integrated with an automatic adhesive filling machine, operating at 130 RPM. Electric Vibrating Motor Piston Technique: Employing an electric motor-driven vibrating piston pump in conjunction with an automatic adhesive filling machine, vibrations are set at 15500 RPM, proving to be the most effective in reducing air bubbles in the adhesive. Centrifugal Force and Angles Technique: Utilizing an electric motor, this method applies torsional force at five different angles: 0, 20, 45, 60, and 90 degrees from the rotational axis. Air bubble measurements are conducted at three time intervals: 5, 10, and 15 minutes, with the motor operating at a speed of 480 RPM. Notably, the 45-degree angle during the 15-minute interval yields the most promising results among the tested angles and durations. Overall, the findings underscore the efficacy

of various mechanical techniques in mitigating air bubble formation within Type A adhesive products, with the centrifugal force at a 45-degree angle over a 15-minute duration emerging as the optimal approach.

Keyword : Reducing air bubbles in the glue, centrifugal force angle



## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาอิสระฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือให้ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา แนะนำความคิดเห็น และกำลังใจแก่ผู้จัดทำ

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ดร. ญัฐพล ไชยดวงศรี อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาอิสระ ที่ได้สละเวลาให้ความช่วยเหลือ ให้แนวคิดความรู้ทางวิชาการ แนะนำแนวทางในการจัดทำการศึกษา คำนคว้าอิสระ ตรวจสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระทุกขั้นตอน ตลอดจนให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำ ซึ่งเป็นผลให้ ผู้จัดทำมีความสามารถในการทำและพัฒนาศึกษาค้นคว้าอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระทุกท่าน ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะแก้ไขให้แนวคิดต่างๆ

ขอขอบพระคุณ บุคลากรคณะวิศวกรรมสตรี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พี่น้องและเพื่อนๆ ตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากมาย ที่ผู้จัดทำไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของผู้จัดทำ ที่ได้ช่วยส่งเสริมสนับสนุน คอยเอาใจใส่ดูแล ให้กำลังใจและสนับสนุนทุนทรัพย์ในการศึกษาเล่าเรียนด้วยดีตลอดมา ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ตะวัน ศรีสุวรรณ



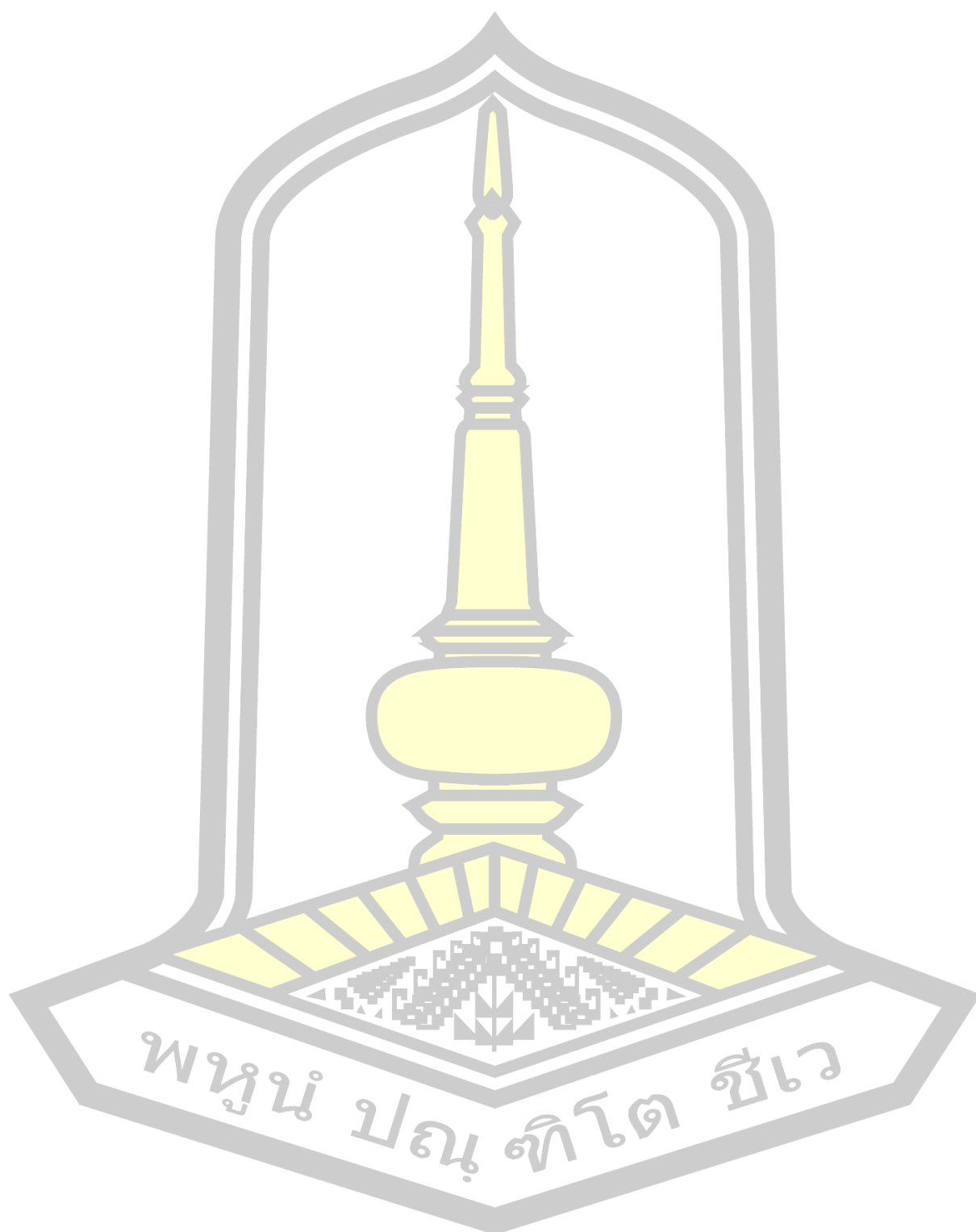


## สารบัญ

|                                                       | หน้า |
|-------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                  | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                               | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                  | ช    |
| สารบัญ.....                                           | ช    |
| สารบัญตาราง.....                                      | ฉ    |
| สารบัญรูปภาพ.....                                     | ฐ    |
| บทที่1 บทนำ .....                                     | 1    |
| 1.1 หลักการและเหตุผล .....                            | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ .....                                | 1    |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย .....                              | 1    |
| 1.4 กรอบการวิจัย .....                                | 2    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                    | 2    |
| บทที่2 ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล .....                     | 3    |
| 2.1 ฟองอากาศ (Bubbles).....                           | 3    |
| 2.2 แรงตึงผิว (Surface Tension Force).....            | 3    |
| 2.3 ออกซิเจนในน้ำ .....                               | 4    |
| 2.4 การลอยตัวของฟองอากาศในของเหลว.....                | 6    |
| 2.5 การเจริญเติบโตของฟองในของเหลว.....                | 8    |
| 2.6 มอเตอร์ไฟฟ้า.....                                 | 9    |
| 2.6.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ .....                     | 9    |
| 2.6.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ..... | 10   |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.7 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า.....                                         | 11 |
| 2.7.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง .....                                       | 11 |
| 2.8 ความรู้พื้นฐานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง .....                           | 11 |
| 2.8.1 ส่วนที่อยู่กับที่ ประกอบด้วย .....                               | 12 |
| 2.8.1.1 เปลือกหรือโครง .....                                           | 12 |
| 2.8.1.2 ขั้วแม่เหล็ก .....                                             | 13 |
| 2.8.1.3 ขดลวดสนามแม่เหล็ก.....                                         | 13 |
| 2.8.1.4 แปรงถ่านและชุดยึดแปรงถ่าน.....                                 | 14 |
| 2.8.1.5 ตลับลูกปืนหรือปลอกทองเหลือง .....                              | 14 |
| 2.8.1.6 ฝาปิดหัวท้ายหรือฝาครอบ .....                                   | 15 |
| 2.8.2 ส่วนที่เคลื่อนที่ ประกอบด้วย.....                                | 15 |
| 2.8.2.1 แกนเพลลา .....                                                 | 15 |
| 2.8.2.2 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ .....                                      | 15 |
| 2.8.2.3 คอมมิวเตเตอร์ .....                                            | 16 |
| 2.8.2.4 ขดลวดอาร์เมเจอร์ .....                                         | 16 |
| 2.9 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....                         | 17 |
| 2.9.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม.....           | 17 |
| 2.9.1.1 ใช้ตัวต้านทานรีโอสแตตการต่ออนุกรมกับวงจรมอเตอร์ .....          | 17 |
| 2.9.1.2 ใช้การแบ่งที่ขดลวดแม่เหล็ก.....                                | 18 |
| 2.9.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน .....            | 19 |
| 2.9.2.1 การควบคุมความเร็วโดยการต่อความต้านทานอนุกรมกับอาร์เมเจอร์..... | 19 |
| 2.9.2.2 การควบคุมความเร็วโดยการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็ก .....        | 21 |
| 2.9.3 การควบคุมความเร็วโดยการปรับขนาดของแรงดันอาร์เมเจอร์ด้วย.....     | 23 |
| 2.10 ค่าความหนืดของของเหลว (Viscosity of liquid).....                  | 24 |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.11 สารเคมีทั่วไปในผลิตภัณฑ์กาว .....                                           | 25 |
| 2.11.1 กาวอีพอกซี .....                                                          | 25 |
| 2.11.2 กาวยูรีเทน ยูรีเทน .....                                                  | 26 |
| 2.11.3 กาวอะคริลิก ไซยาโนอะคริเลต .....                                          | 27 |
| 2.11.4 กาวซิลิโคน .....                                                          | 28 |
| 2.11.5 กาวยาง .....                                                              | 28 |
| 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....                                                 | 30 |
| บทที่3 วิธีการดำเนินการวิจัย .....                                               | 32 |
| 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....                                                | 32 |
| 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย .....                                   | 34 |
| 3.2.1 มอเตอร์กระแสตรง 24 VDC.....                                                | 34 |
| 3.2.2 วงจรควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ .....                                         | 35 |
| 3.2.3 มอเตอร์สั่นสะเทือน.....                                                    | 35 |
| 3.2.4 Microsoft Excel.....                                                       | 36 |
| 3.3 วิธีการเก็บข้อมูลและการเปรียบเทียบข้อมูล.....                                | 37 |
| 3.3.1 การเก็บผลการวิจัย .....                                                    | 37 |
| บทที่4 ผลการทดลอง.....                                                           | 40 |
| 4.1 ผลการเก็บข้อมูลการลดจำนวนฟองอากาศในเนื้อผลิตภัณฑ์กาวชนิด A แต่ละเทคนิค ..... | 40 |
| 4.2 ผลการเปรียบเทียบการลดจำนวนฟองอากาศในเนื้อผลิตภัณฑ์กาวชนิด A แต่ละเทคนิค..... | 49 |
| บทที่5 สรุปและอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....                                      | 56 |
| 5.1 สรุปและอภิปรายผล .....                                                       | 56 |
| 5.2 อภิปรายผล.....                                                               | 56 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ .....                                                             | 56 |
| บรรณานุกรม.....                                                                  | 57 |



## สารบัญตาราง

|                                                                                                            | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 1 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากเครื่อง bubble eliminator M/C .....                                       | 41   |
| ตารางที่ 2 ข้อมูลข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากเทคนิคลูกสูบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า DC.....                              | 42   |
| ตารางที่ 3 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากลูกสูบมอเตอร์สันไฟฟ้า DC.....                                             | 43   |
| ตารางที่ 4 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 0 องศาจากแกนหมุน .....                                   | 44   |
| ตารางที่ 5 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 20 องศาจากแกนหมุน .....                                  | 45   |
| ตารางที่ 6 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 45 องศาจากแกนหมุน .....                                  | 46   |
| ตารางที่ 7 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 60 องศาจากแกนหมุน .....                                  | 47   |
| ตารางที่ 8 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 90 องศาจากแกนหมุน .....                                  | 48   |
| ตารางที่ 9 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคลูกสูบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า.....  | 49   |
| ตารางที่ 10 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคลูกสูบมอเตอร์สันไฟฟ้า DC..... | 50   |
| ตารางที่ 11 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 0 องศา.....     | 51   |
| ตารางที่ 12 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 20 องศา .....   | 52   |
| ตารางที่ 13 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 45 องศา .....   | 53   |
| ตารางที่ 14 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 60 องศา .....   | 54   |
| ตารางที่ 15 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 90 องศา .....   | 55   |

## สารบัญรูปภาพ

|                                                                                                                  | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ภาพประกอบที่ 1 กรอบการวิจัย.....                                                                                 | 2    |
| ภาพประกอบที่ 2 ฟองอากาศ.....                                                                                     | 3    |
| ภาพประกอบที่ 3 พื้นผิวของของเหลว .....                                                                           | 4    |
| ภาพประกอบที่ 4 ลักษณะปฏิสัมพันธ์ของสองฟองอากาศที่สัมผัสกัน 1 อินเทอร์เฟซระหว่างฟองกับของเหลว 2 ฟิล์มแยกฟอง ..... | 8    |
| ภาพประกอบที่ 5 โครงสร้างภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ.....                                                          | 9    |
| ภาพประกอบที่ 6 โครงสร้างภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....                                                           | 10   |
| ภาพประกอบที่ 7 โครงสร้างภายนอกและโครงสร้างภายในของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง .....                                     | 12   |
| ภาพประกอบที่ 8 ส่วนที่อยู่กับที่ และส่วนที่เคลื่อนที่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง .....                               | 12   |
| ภาพประกอบที่ 9 โครงของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง .....                                                                 | 13   |
| ภาพประกอบที่ 10 ขั้วแม่เหล็ก.....                                                                                | 13   |
| ภาพประกอบที่ 11 ขดลวดสนามแม่เหล็ก.....                                                                           | 14   |
| ภาพประกอบที่ 12 แปรปรูปแบบต่าง ๆ .....                                                                           | 14   |
| ภาพประกอบที่ 13 ตลับลูกปืนและปลอกทองเหลือง .....                                                                 | 15   |
| ภาพประกอบที่ 14 ส่วนที่เคลื่อนที่.....                                                                           | 15   |
| ภาพประกอบที่ 15 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ .....                                                                        | 16   |
| ภาพประกอบที่ 16 คอมมิวเตเตอร์รูปแบบต่าง ๆ.....                                                                   | 16   |
| ภาพประกอบที่ 17 การพันอาร์เมเจอร์ แบบแลป (Lap) และ เวฟ (Wave).....                                               | 17   |
| ภาพประกอบที่ 18 การควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้ตัวต้านทานรีโอสแตต.....                                            | 18   |
| ภาพประกอบที่ 19 การควบคุมความเร็วโดยการแบ่งขดลวด .....                                                           | 18   |
| ภาพประกอบที่ 20 การควบคุมความเร็วมอเตอร์อนุกรมให้สูงกว่าความเร็วปกติ.....                                        | 19   |

|                 |                                                                                |    |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| ภาพประกอบที่ 21 | การควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้ต่ำกว่าความเร็วปกติ .....                           | 19 |
| ภาพประกอบที่ 22 | วงจรการควบคุมแบบรีโอสแตต .....                                                 | 20 |
| ภาพประกอบที่ 23 | แสดงการต่อไดเวอร์เตอร์ .....                                                   | 20 |
| ภาพประกอบที่ 24 | วงจรการต่อตัวต้านทานรีโอสแตตควบคุมเส้นแรงแม่เหล็ก .....                        | 22 |
| ภาพประกอบที่ 25 | วงจรการควบคุมความเร็วโดยปรับขนาดแรงดันอาร์เมเจอร์ด้วยวิธีวาร์ด-ลีโอนาร์ด ..... | 23 |
| ภาพประกอบที่ 26 | กระบวนการของอุปกรณ์ลดฟองอากาศในเนื่อแก้ว .....                                 | 33 |
| ภาพประกอบที่ 27 | ขั้นตอนการทำวิจัย .....                                                        | 34 |
| ภาพประกอบที่ 28 | มอเตอร์ 12 VDC .....                                                           | 35 |
| ภาพประกอบที่ 29 | วงจรควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ .....                                             | 35 |
| ภาพประกอบที่ 30 | มอเตอร์สันสะเทือน .....                                                        | 36 |
| ภาพประกอบที่ 31 | Microsoft Excel .....                                                          | 36 |
| ภาพประกอบที่ 32 | bubble eliminator M/C .....                                                    | 37 |
| ภาพประกอบที่ 33 | ลูกสูบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า DC และเครื่องเติมแกวอัตโนมัติ .....                   | 38 |
| ภาพประกอบที่ 34 | ลูกสูบลมมอเตอร์สันไฟฟ้า DC .....                                               | 38 |
| ภาพประกอบที่ 35 | มุมเหวี่ยงหลอดแก้ว .....                                                       | 39 |
| ภาพประกอบที่ 36 | ข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากเครื่อง bubble eliminator M/C .....                      | 41 |
| ภาพประกอบที่ 37 | ข้อมูลข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากเทคนิคลูกสูบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า DC .....            | 42 |
| ภาพประกอบที่ 38 | ข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากลูกสูบลมมอเตอร์สันไฟฟ้า DC .....                         | 43 |
| ภาพประกอบที่ 39 | ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 0 องศาจากแกนหมุน .....                  | 44 |
| ภาพประกอบที่ 40 | ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 20 องศาจากแกนหมุน .....                 | 45 |
| ภาพประกอบที่ 41 | ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 45 องศาจากแกนหมุน .....                 | 46 |
| ภาพประกอบที่ 42 | ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 60 องศาจากแกนหมุน .....                 | 47 |
| ภาพประกอบที่ 43 | ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 90 องศาจากแกนหมุน .....                 | 48 |

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ภาพประกอบที่ 44 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิค<br>ลูกสูบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า ..... | 49 |
| ภาพประกอบที่ 45 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิค<br>ลูกสูบสันมอเตอร์ไฟฟ้า DC ..... | 50 |
| ภาพประกอบที่ 46 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิค<br>แรงเหวี่ยงมุม 0 องศา.....      | 51 |
| ภาพประกอบที่ 47 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิค<br>แรงเหวี่ยงมุม 20 องศา .....    | 52 |
| ภาพประกอบที่ 48 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิค<br>แรงเหวี่ยงมุม 45 องศา .....    | 53 |
| ภาพประกอบที่ 49 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิค<br>แรงเหวี่ยงมุม 60 องศา .....    | 54 |
| ภาพประกอบที่ 50 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิค<br>แรงเหวี่ยงมุม 90 องศา .....    | 55 |





## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 หลักการและเหตุผล

โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเลนส์ถ่ายภาพแห่งหนึ่ง ในกระบวนการประกอบเลนส์ยึดติดเข้ากับ บาร์เรลเลนส์ ใช้ผลิตภัณฑ์กาวรุ่นหนึ่งในการประกอบชิ้นงานยึดติดเข้าด้วยกัน ผลิตภัณฑ์กาวจึงเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการผลิตเลนส์ถ่ายภาพ ทั้งเรื่องคุณภาพในการยึดติดชิ้นงาน ปริมาณในการใช้ ผลิตภัณฑ์กาวผลิตชิ้นงานเลนส์ออกมา ทางโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเลนส์ถ่ายภาพแห่งนี้ จึงให้ความสำคัญกับการใช้งานหรือคุณภาพผลิตภัณฑ์กาวในกระบวนการผลิตเลนส์ถ่ายภาพ

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเลนส์ถ่ายภาพ พบปัญหาในกระบวนการประกอบเลนส์ถ่ายภาพ ซึ่งปัญหาที่พบอยู่ในกระบวนการประกอบเลนส์ยึดติดเข้ากับบาร์เรลเลนส์ ในการยึดติดชิ้นงานนั้นพบว่า การหยดผลิตภัณฑ์กาวในชิ้นงานไม่ได้ประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงานที่ประกอบออกมา

จากที่กล่าวมานั้นพบว่ามีฟองอากาศในหลอดผลิตภัณฑ์กาว ซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหาที่ทำให้กระบวนการผลิตเลนส์ถ่ายภาพไม่ต่อเนื่อง ทำให้กระบวนการหยดผลิตภัณฑ์กาวลงในชิ้นงานนั้นไม่สมบูรณ์ ดังนั้นทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเทคนิคลดฟองอากาศในเนื้อกาวจากกระบวนการประกอบเลนส์กล้อง

#### 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาเทคนิคลดฟองอากาศในเนื้อกาว

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบเทคนิคในการลดฟองอากาศในเนื้อกาวในแบบต่างๆ

#### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้จะกำหนดขอบเขตการวิจัยเพื่อสามารถกำหนดเป้าหมายและวิธีการในการแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ ขอบเขตของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

1.3.1 ทำการวิจัยการลดฟองอากาศในเนื้อผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ที่ความเร็ว 130 รอบต่อนาที

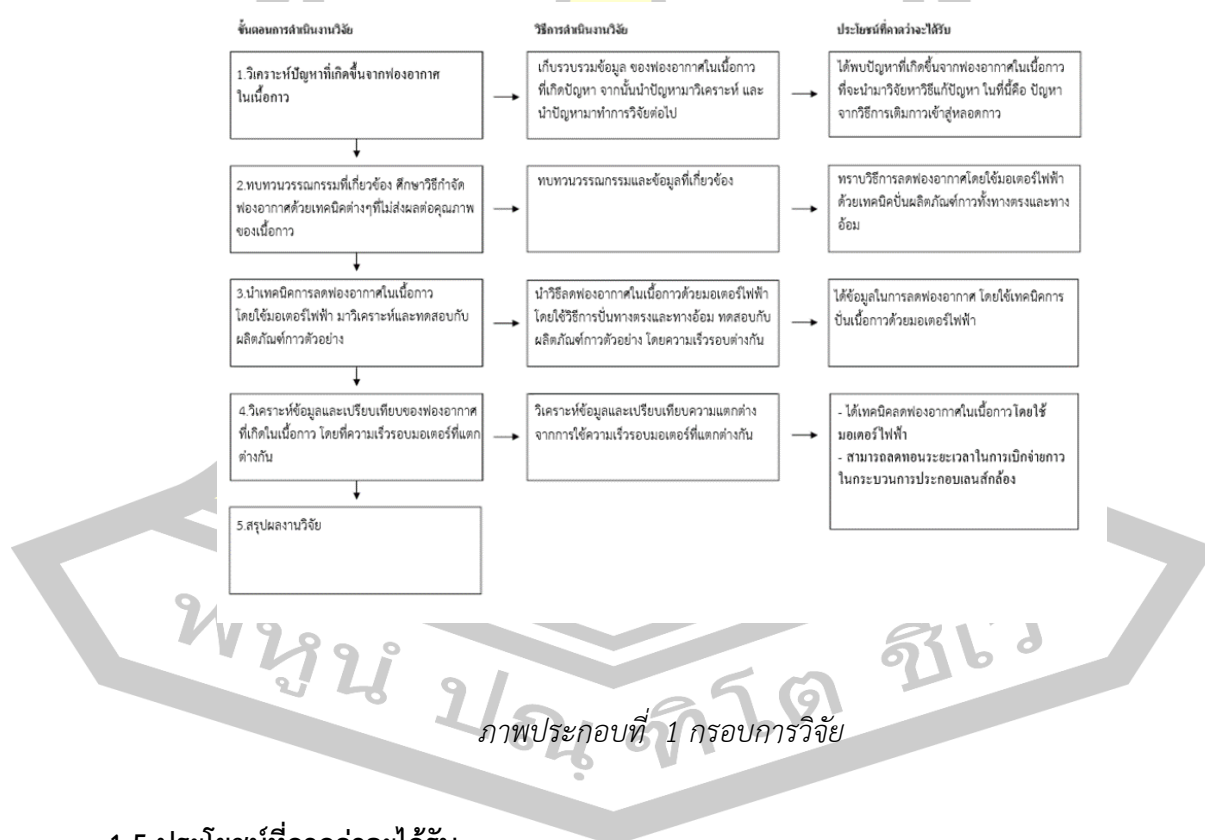
1.3.2 ทำการวิจัยการลดฟองอากาศในเนื้อผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ด้วยมอเตอร์  
สั่นสะเทือน 15500 รอบต่อนาที

1.3.3 ทำการวิจัยการลดฟองอากาศในเนื้อผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า  
ที่ความเร็ว 480 รอบต่อนาที กับมุมเหวี่ยง 5 มุมองศา

1.3.4 ใช้กาวผลิตภัณฑ์รุ่นหนึ่งหาปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้น

#### 1.4 กรอบการวิจัย

เนื่องจากการวิจัยหลายขั้นตอน เพื่อให้สามารถเห็นภาพรวมของขั้นตอนทั้งหมดของการ  
ดำเนินวิจัยจึงจำเป็นต้องมีกรอบการวิจัย (ดังแสดงดังภาพประกอบที่ 1) โดยกรอบการวิจัยจะ  
ประกอบไปด้วย ขอบเขตการวิจัย วิธีการดำเนินการวิจัยและผลที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละขั้นตอน  
วิจัย



#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถลดปริมาณของฟองอากาศในเนื้อกาว

1.5.2 สามารถนำเทคนิคลดฟองอากาศไปใช้ในกระบวนการของเครื่องเติมกาวได้

## บทที่ 2

### ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

ในการดำเนินการพัฒนาเทคนิคลดฟองอากาศในเนื้อกาว ผู้วิจัยจึงทำการคิดค้น อุปกรณ์ลดฟองอากาศในเนื้อกาวโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับ ฟองอากาศในของเหลว แรงตึงผิว ออกซิเจนในน้ำ การเจริญเติบโตของฟองในของเหลว มอเตอร์ไฟฟ้า ความรู้พื้นฐานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ค่าความหนืดของของเหลว และสารเคมีทั่วไปในผลิตภัณฑ์กาว เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ

#### 2.1 ฟองอากาศ (Bubbles)

ฟองอากาศ (Bubbles) หรือฟองสบู่เป็นชั้นฟิล์มบาง ๆ ของน้ำสบู่ที่ห่อหุ้มอากาศไว้และก่อตัวเป็นทรงกลม โดยมีพื้นผิวเป็นสีรุ้ง เมื่อมีแสงตกกระทบพื้นผิวของฟองสบู่จึงจะทำให้มองเห็นสีที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้สีของพื้นผิวของฟองสบู่จะแตกต่างจากสีรุ้งของรุ้งกินน้ำที่เกิดจากการหักเหของแสงที่ความยาวคลื่นที่ต่างกัน โดยสีที่มองเห็นในฟองสบู่เกิดขึ้นจากการแทรกสอดของแสงที่สะท้อนออกมาจากแสงที่ตกกระทบชั้นฟิล์มบาง ๆ ของฟองสบู่ทั้งด้านนอกและด้านใน ซึ่งมีทั้งการแทรกสอดแบบหักล้างและเสริมกัน ขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นฟิล์มของฟองสบู่และมุมที่แสงตกกระทบ



ภาพประกอบที่ 2 ฟองอากาศ

#### 2.2 แรงตึงผิว (Surface Tension Force)

เป็นแรงที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของของเหลวที่พยายามดึงโมเลกุลที่ผิวหน้าของของเหลวเพื่อทำให้มีพื้นที่ผิวที่น้อยที่สุดหรือไม่ให้พื้นผิวขาดออกจากกัน โดยมีทิศขนานกับผิวของของเหลว และตั้งฉากกับเส้นขอบที่ของเหลวสัมผัส ในกรณีของฟองของเหลวหรือฟองสบู่จะประกอบด้วยชั้น

ของฟิล์มบาง ๆ สองชั้น โดยมีชั้นของของเหลวอยู่ระหว่างพื้นผิวทั้งสอง ทั้งนี้แรงดึงดูดผิวจะดึงโมเลกุลที่ผิวหน้าของของเหลวเข้าหากันและพยายามทำให้ฟองอากาศมีพื้นที่ผิวที่น้อยที่สุดด้วยการหดตัวลงและบีบอัดอากาศภายในจนถึงจุดสมดุล ซึ่งเป็นจุดที่อากาศภายในฟองสปูมีแรงดันที่เพิ่มขึ้นและต้านการหดตัวของชั้นฟิล์มทั้งสองในทุกทิศทางเพื่อไม่ให้หดตัวต่อไปได้อีก ด้วยเหตุนี้ฟองสปูจึงมีลักษณะเป็นทรงกลม อย่างไรก็ตามฟองสปูจะคงอยู่เพียงไม่กี่วินาที และมักจะระเบิดออกเมื่อสัมผัสกับสิ่งอื่นหรือระเบิดออกด้วยตัวเองเมื่อโมเลกุลของของเหลวที่อยู่ระหว่างผิวชั้นนอกและชั้นในระเหยไปจนหมด



ภาพประกอบที่ 3 พื้นผิวของของเหลว

### 2.3 ออกซิเจนในน้ำ

ในการพิจารณาความสมดุลระหว่างก๊าซในของเหลวเราจะได้รับคำแนะนำจากโมเลกุลออกซิเจนในน้ำหรือโดยโมเลกุลอากาศ หากเราสันนิษฐานว่าพฤติกรรมของโมเลกุลไนโตรเจนคล้ายกับโมเลกุลออกซิเจน มีสามรูปแบบสำหรับโมเลกุลออกซิเจนในน้ำโมเลกุลออกซิเจนที่ละลายน้ำหรือถูกผูกไว้พบในสมดุลทางอุณหพลศาสตร์กับโมเลกุลออกซิเจนของอากาศที่ติดกับน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิ  $T = 298\text{K}$  ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงสุดคือ  $0.0089\text{ g/l}$  สิ่งนี้สอดคล้องกับความดันบางส่วน  $p_s$  ของปริมาณออกซิเจนอิ่มตัวของ  $p_s(\text{O}_2) = 5.2\text{ Torr}$  หรือความเข้มข้น  $C_{sat} \approx 5 \times 10^{-6} = 5\text{ ppm}$  อัตราส่วนของจำนวนโมเลกุลออกซิเจนละลายน้ำต่อจำนวนโมเลกุลของน้ำในปริมาณที่กำหนดตามทฤษฎี Langmuir ความหนาแน่นของนอตที่ใช้งานอยู่  $N_k$  สำหรับตำแหน่งของโมเลกุลออกซิเจนละลายน้ำที่ความดันที่กำหนด จากนั้นความหนาแน่นของ

จำนวนโมเลกุลออกซิเจนละลายน้ำ  $N(O_2)$  ที่อุณหภูมิที่กำหนด  $T$  จะถูกกำหนดโดยสูตร

$$N(O_2) = N_k \exp \left( -\frac{\Delta \varepsilon}{T} \right) \quad (1)$$

$\Delta \varepsilon$  คือพลังงานที่จับกันของโมเลกุลออกซิเจนที่มีปมที่ใช้งานอยู่ สูตรนี้เป็นจริงหากความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลออกซิเจนอิสระนอกน้ำมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลที่ละลายน้ำ  $N(O_2)$  จากการวัดสามารถค้นหาค่าของพารามิเตอร์ของสูตรนี้ก็คือ

$$N_k \approx 4 \times 10^{17} \text{ Cm}^{-3}$$

$$\Delta \varepsilon \approx (1900 \pm 10)k = (0.16 \pm 0.01) \text{ eV} \quad (2)$$

ทราบว่าความเข้มข้นของนอตที่สามารถจับโมเลกุลออกซิเจนได้เท่ากับ  $C_k = 12 \text{ ppm}$

$c_k = N_k/N(H_2O)$  หรือ  $N(H_2O)$  คือความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลของน้ำและเกี่ยวข้องกับความดันบรรยากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิ  $T=300 \text{ K}$  ความหนาแน่นของตัวเลข  $N_d$  ของโมเลกุลที่ละลายและความเข้มข้นของ  $C_d$  ในน้ำมีค่าเท่ากัน

$$N_d = 7 \times 10^{14} \text{ Cm}^{-3}, C_k = (22 \pm 7) \times 10^{-9} \quad (3)$$

พารามิเตอร์ของออกซิเจนละลายน้ำตามสูตร (2) สอดคล้องกับสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ หากความเข้มข้นของโมเลกุลออกซิเจนเกินค่าอิ่มตัว  $C_{sat}$  ออกซิเจนส่วนเกินจะออกจากน้ำไปตามกาลเวลา แต่ถ้ามีแหล่งที่มาของการฉีดออกซิเจนลงในน้ำความสมดุลใหม่จะเกิดขึ้นเมื่อรวมกับโมเลกุลออกซิเจนที่ละลายน้ำออกซิเจน อาจพบได้ในรูปของฟองอากาศ (ดูรูปที่ 1) ในกรณีนี้โมเลกุลออกซิเจนแต่ละโมเลกุลอาจออกจากน้ำโดยการแพร่กระจายโดยตรงไปยังพื้นผิว แต่ยังสามารถติดกับฟองอากาศได้ในทางกลับกันฟองอากาศสามารถออกจากน้ำผ่านอินเทอร์เฟซทั้งโดยการแพร่กระจายและโดยการไหลขึ้น นอกจากนี้ฟองอากาศอาจเติบโตอันเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ของโมเลกุลก๊าซแต่ละโมเลกุลเป้าหมายของบทความนี้คือการวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของการเติบโตของฟองพร้อมกับการหลบหนีของออกซิเจนผ่านอินเทอร์เฟซ[1]

มีสามวิธีในการฉีดก๊าซลงในของเหลว ในกรณีแรกโมเลกุลแต่ละโมเลกุลจะถูกนำเข้าสู่ของเหลว เช่น เมื่อออกซิเจนถูกสร้างขึ้นในน้ำผ่านการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยพืชน้ำ สิ่งนี้ทั่วไปสำหรับกระบวนการทางเคมีอื่น ๆ ในของเหลว วิธีที่สองเป็นผลมาจากก๊าซที่ผ่านเข้าไปในของเหลวผ่านวัสดุที่มีรูพรุนเช่นเดียวกับการทดลอง ซึ่งอากาศแทรกซึมเข้าไปในน้ำผ่านซิลิกาเจลดัดแปลง วิธีนี้เกิดขึ้น

ได้ในธรรมชาติ เมื่อตัวอย่างเช่นมีเทนก่อตัวในกระบวนการเน่าเสียและไหลลงสู่ น้ำในหนองน้ำ ในวิธีที่สามก๊าซและของเหลวผสมที่อินเทอร์เฟซของพวกเขาเช่นเดียวกับการไหลที่ปั่นป่วนของลำธารหรือแม่น้ำและวิธีนี้ต้องใช้พลังงานสูง

ต่อไปจะพิจารณาระบบการปกครองของจลนพลศาสตร์ของออกซิเจนที่ไม่ละลายซึ่งประกอบด้วยฟองอากาศในน้ำเป็นหลัก ความดันภายในฟองรัศมี  $r$  ได้รับจากสูตร Laplace

$$p = p_{ex} + \frac{2\alpha}{r} \quad (4)$$

$p_{ex}$  คือความดันภายนอกที่กระทำต่อของเหลว  $\alpha$  คือแรงตึงผิวที่มีค่า  $\alpha = 72 \text{ dyn/cm}$

ที่อุณหภูมิห้อง สิ่งนี้ทำให้ความหนาแน่นของจำนวน  $N$  ของโมเลกุลอากาศภายในฟองอากาศในรัศมี  $r$

$$N = N_0 \left(1 + \frac{r_0}{r}\right) \quad (5)$$

และพารามิเตอร์ของสูตรนี้ที่ความดัน  $p = 1 \text{ atm}$  และอุณหภูมิห้องคือ

$N_0 = 2.46 \times 10^{-9} \text{ } 10^{-3}, r_0 = 1.44 \text{ }\mu\text{m}$  โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากนี้มันเป็นไปได้ตามที่ฟองอากาศที่มีรัศมีของ  $r = 1 \text{ }\mu\text{m}$

ภายใต้เงื่อนไขข้างต้นประกอบด้วย  $n = 2.5 \times 10^8$  โมเลกุล

## 2.4 การลอยตัวของฟองอากาศในของเหลว

เห็นว่าหากปริมาณของก๊าซในของเหลวเกินขีดจำกัด ความสามารถในการละลายของโมเลกุลก๊าซในของเหลวส่วนเกินทั้งหมดของก๊าซนี้จะก่อตัวเป็นฟองอากาศในของเหลว หากปริมาณของเหลวเพียงพอที่จะมีฟองอากาศเหล่านั้น[2] ดังนั้นวิวัฒนาการของฟองก๊าซในของเหลวส่งผลให้เกิดกระบวนการเชื่อมโยงการสัมผัสระหว่างฟองอากาศ วิวัฒนาการของก๊าซในของเหลวโดยก๊าซถูกแทรกเข้าไปในของเหลวในรูปของโมเลกุลแต่ละโมเลกุล หรือฟองอากาศขนาดเล็กประกอบด้วย การเติบโตของฟองและการสูญเสียฟองโดยการลอยตัว[2] ฟองอากาศทั้งของเหลวอันเป็นผลมาจากการลอยตัวขึ้นสู่อินเทอร์เฟซของเหลว หากระยะห่างจากฟองอากาศไปยังอินเทอร์เฟซคือ  $L$  เวลาที่มีประสิทธิภาพของฟองลอยขึ้นคือ



$$\frac{1}{\tau_{fJ}} = \frac{v_{fJ}}{L}$$

(6)

ความเร็วของกระบวนการลอยตัว  $v_{fJ}$  ตามมาจากความสมดุลของแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อฟองอากาศในของเหลวและแรงต้านทาน หากใช้แรงต้านเป็นสูตร Stokes ความเร็วนี้สำหรับฟองเล็ก ๆ ของรัศมี  $r$  จะได้รับจากสูตร

$$v_{fJ} = \frac{4pgr^2}{9\eta} \quad (7)$$

$g = 980 \text{ cm}^2/2$  คือการเร่งความเร็วการตกอย่างอิสระ  $p$  คือความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำและอากาศภายในฟองอากาศหรือความหนาแน่นของน้ำ  $\eta$  คือค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำ การวิเคราะห์อย่างรอบคอบมากขึ้นบ่งชี้ว่าแรงตามสูตร Stokes ซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ของอนุภาคของแข็งในตัวกลางที่เป็นก๊าซหรือของเหลวจะต้องคูณด้วยปัจจัย  $3/2$  หากอนุภาคก๊าซหรือของเหลวเคลื่อนที่ในของเหลว[3]

$$v_{fJ} = \frac{4pgr^2}{27\eta}$$

(8)

โดยที่  $r$  คือรัศมีปัจจุบันของฟองทดสอบ สำหรับฟองอากาศที่เคลื่อนที่ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

$(p = \frac{1g}{\text{cm}^3}, n = 8.9 \times 10^{-3} \text{ g / (cm s)})$  สามารถลดสูตรนี้ลงใน

$$v_{fJ} = Cr^2, C = 1.6 \times 10^4 \text{ cm}^{-1} \text{ s}^{-1} \quad (9)$$

ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ เราสามารถแสดงสูตร (9) ได้ในรูปแบบ

$$v_{fJ} = v_0 n, v_0 = 1.1 \times 10^{-12} \text{ cm/s}$$

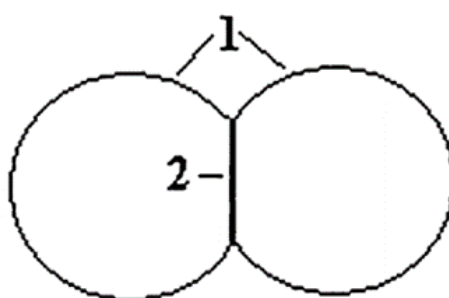
โดยเฉพาะอย่างยิ่งสูตร (6) และ (9) ให้สำหรับฟองอากาศของรัศมี  $r = 1 \mu\text{m}$ , เวลาลอยตัวขึ้น

$\tau_{fl} = L/v_{fl} = 2h$  สำหรับฟองอากาศในน้ำที่  $L = 1 \text{ cm}$  จากนั้นไปอายุการใช้งานของฟองอากาศขนาดไมครอนในน้ำที่เจือปนสบจะถูกวัดเป็นชั่วโมง

## 2.5 การเจริญเติบโตของฟองในของเหลว

เมื่อฟองอากาศอยู่ในของเหลวพวกมันจะย้ายไปที่นั่นและอาจสัมผัสกันตามที่แสดงในรูป ถ้าฟองอากาศสองฟองมีขอบเขตร่วมกัน ไม่สามารถแยกออกจากกันได้เนื่องจากปฏิกิริยาพื้นผิวของเหลวในระบบนี้ ดังนั้นวิวัฒนาการของการสัมผัสฟองอากาศอาจเป็นสองเท่าดังนั้นในกรณีแรกฟิล์มระหว่างฟองอากาศจะถูกทำลายและรูปแบบฟองรวมในขณะที่ที่สองฟิล์มสะท้อนน้ำสะท้อนกันระหว่างฟองมีความเสถียรและในตอนท้ายของความสัมผัสของฟองอากาศหลายพื้นผิวฟิล์มร่วมกันนำไปสู่การก่อตัวของโฟม เห็นได้ชัดว่าสถานการณ์แรกเกิดขึ้นได้ในกรณีง่าย ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมันเกิดขึ้นในน้ำบริสุทธิ์ กระบวนการนี้คล้ายกับกระบวนการเจริญเติบโตของคลัสเตอร์อันเป็นผลมาจากความสัมผัสของละอองลอย ซึ่งอนุภาคทรงกลมเหลวตั้งอยู่ในก๊าซและการเคลื่อนที่ของพวกมันในก๊าซมีลักษณะเป็นบราวเนียน การกระจายขนาดของอนุภาคในกรณีนี้ถูกควบคุมโดยสมการเชิงตัวของ Smoluchowski และอัตราคงที่ของความสัมผัสของละอองลอยจะถูกกำหนดโดยแรงเสียดทานในก๊าซเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบกระจาย ทฤษฎีคลาสสิกของการเจริญเติบโตของละอองลอยเหมาะสำหรับกระบวนการเจริญเติบโตของคลัสเตอร์ในระบอบการแพร่กระจาย

กรณีที่สองซึ่งฟิล์มสะท้อนน้ำสะท้อนกันระหว่างฟองอากาศที่สัมผัสกันสองฟองมีความเสถียรเกิดขึ้นในของเหลวอินทรีย์หรือหากมีการเติมสารลดแรงตึงผิวลงในน้ำที่ทำให้ฟิล์มระหว่างฟองอากาศคงที่ เราจะพิจารณาด้านล่างประเภทของการเติบโตของฟองแรกและใช้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมสำหรับการเติบโตของคลัสเตอร์[4]



ภาพประกอบที่ 4 ลักษณะปฏิกิริยาของสองฟองอากาศที่สัมผัสกัน 1 อินเทอร์เฟซระหว่างฟองกับของเหลว 2 ฟิล์มแยกฟอง

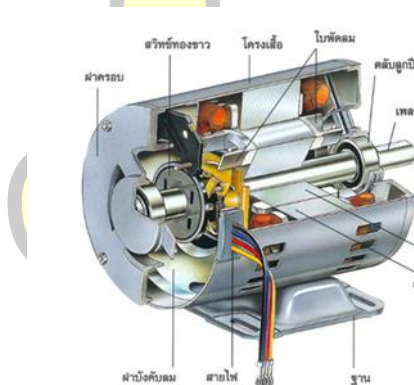


## 2.6 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล มีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันทั้งความเร็วรอบหรือกำลังงาน แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการใช้งาน คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.6.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ หรือ เอ.ซี. มอเตอร์ (A.C. motor) ย่อมาจาก Alternating Current Motor ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าคือขดลวดในสเตเตอร์ และส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกลคือตัวหมุนหรือโรเตอร์

โครงสร้างภายในโครงสร้างภายในโดยทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้



ภาพประกอบที่ 5 โครงสร้างภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ  
ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous Motor) เหมาะกับงานที่ต้องการความเร็วรอบในการหมุนคงที่และความเร็วรอบย้อนกลับได้

มอเตอร์อินดักชัน (Induction Motor) หรือมอเตอร์เหนี่ยวนำ นิยมใช้อย่างแพร่หลายทั้งในงานอุตสาหกรรมและในที่พักอาศัย แทบจะกล่าวได้ว่ามีใช้มากที่สุดเพราะมีขั้นตอนในการรับกระแสไฟฟ้าค่อนข้างง่าย ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. มอเตอร์อินดักชันตัวหมุนกรงกระรอก

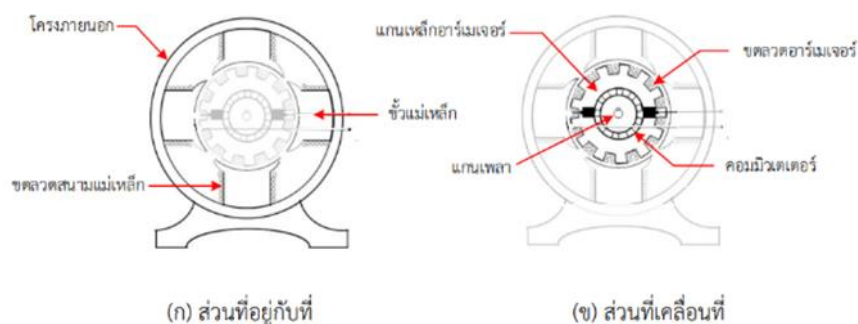
2. มอเตอร์อินดักชันตัวหมุนพันด้วยขดลวด

3. มอเตอร์อินดักชันตัวหมุนแบบเหล็กตัน

#### 2.6.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หรือ ดี.ซี. มอเตอร์ (D.C. motor)

ย่อมาจาก Direct Current Motor ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง มีโครงสร้างภายในแตกต่างจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ หรือ สเตเตอร์ที่มีขดลวดสนาม (Field Coil) และส่วนที่เคลื่อนที่หรือโรเตอร์ โดยในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature) และแปรงถ่าน (Brush)

โครงสร้างภายใน โครงสร้างโดยทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้



ภาพประกอบที่ 6 โครงสร้างภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

#### ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นอยู่กับการทำงานของขดลวดสนาม (Field Coil) และ ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Coil) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

Shunt DC Motor เป็นการต่อขดลวดสนามและขดลวดอาร์เมเจอร์แบบขนาน ดังนั้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดทั้ง 2 จะไม่เท่ากัน มีข้อดีคือ มีแรงบิด Torque ปานกลาง และความเร็วรอบคงที่ นิยมใช้กับมอเตอร์ในเครื่องเจาะ เครื่องกลึง เป็นต้น.

Serie DC Motor เป็นการต่อขดลวดสนามและขดลวดอาร์เมเจอร์แบบอนุกรม ซึ่ง กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดทั้ง 2 นั้นจะมีค่าเท่ากัน โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลจะขึ้นอยู่กับ

ภาระโหลด ความเร็วของมอเตอร์จะลดลงเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น มีข้อดีคือ มีแรงบิด Torque สูง นิยมนำไปใช้กับมอเตอร์ในเครื่องยนต์ มอเตอร์ในงานยกของ มอเตอร์ขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้น

Compound Motor เป็นมอเตอร์ที่มีขดลวดสนาม 2 ชุด ชุดที่ 1 ต่อแบบอนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์ก่อนและค่อยมาขนานกับขดลวดสนามชุดที่ 2 มีข้อดีคือ มีแรงบิด Torque มากกว่า Shunt DC Motor และมีความคงที่กว่า Serie DC Motor นิยมนำไปใช้กับมอเตอร์ในงานตัดโลหะ มอเตอร์เครื่องกดอัด เป็นต้น.[5]

## 2.7 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

สามารถควบคุมความเร็วได้ 2 วิธีคือ แบบเลือกความเร็ว สามารถเลือกได้ว่าต้องการให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วต่ำหรือความเร็วสูง แบบที่ 2 คือแบบควบคุมให้หมุนเรียงตามลำดับความเร็ว แบบนี้มอเตอร์จะหมุนที่ความเร็วต่ำก่อนเสมอแล้วจึงไปหมุนที่ความเร็วสูง ทำได้โดยการใช้รีเลย์ช่วยในการควบคุม ส่วนการลดความเร็วจากสูงมาต่ำ ต้องหยุดมอเตอร์ก่อนแล้วจึงเริ่มใหม่ที่ความเร็วต่ำ เหมาะสมกับงานที่มีโหลดที่เพลาของมอเตอร์มาก

ส่วนการควบคุมทิศทางการหมุนนั้นทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สวิตช์ต่อใช้กับวงจรกำลังเพื่อเปลี่ยนทิศการหมุน

### 2.7.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

สามารถควบคุมความเร็วได้โดยการปรับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ โดยสามารถปรับได้ไม่เกินค่าแรงดันสูงสุดที่จ่ายให้มอเตอร์ ส่วนการควบคุมแรงบิด ทำได้โดยการควบคุมกระแสที่ผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดสเตเตอร์ ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้การควบคุมด้วยวงจร Pulse Width Modulator หรือ PWM (ใช้วิธีจ่ายไฟให้แก่มอเตอร์เป็นช่วง ๆ โดยการควบคุมแรงดัน คือการปรับช่วงกว้างของพัลส์ที่จ่ายให้) สำหรับการควบคุมทิศทางการหมุนนั้นสามารถทำได้โดยการสลับขั้วแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ อาจใช้วิธีสลับขั้วด้วยมือ ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือวงจรรีเลย์เข้าไปควบคุม[6]

## 2.8 ความรู้พื้นฐานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้า (Motor) คือ เครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็น พลังงานกล โดยอาศัยหลักการดูดและผลักของสนามแม่เหล็ก มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง มีคุณสมบัติในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้เป็นต้นกำลังในงานอุตสาหกรรม เช่น การขับเคลื่อน รถไฟฟ้า เป็นต้น[5]

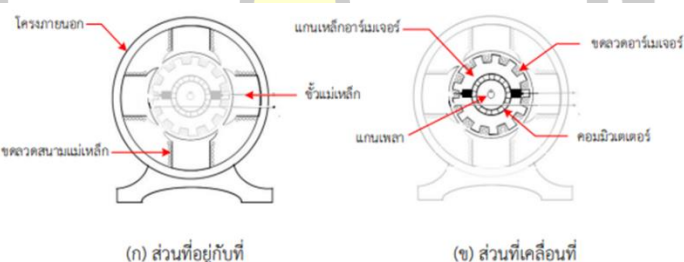


(ก) โครงสร้างภายนอก

(ข) โครงสร้างภายใน

ภาพประกอบที่ 7 โครงสร้างภายนอกและโครงสร้างภายในของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มีโครงสร้างและหลักการทำงานที่คล้ายกัน ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) และส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor)



(ก) ส่วนที่อยู่กับที่

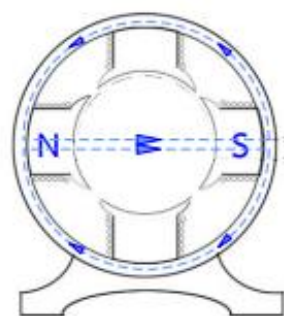
(ข) ส่วนที่เคลื่อนที่

ภาพประกอบที่ 8 ส่วนที่อยู่กับที่ และส่วนที่เคลื่อนที่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

### 2.8.1 ส่วนที่อยู่กับที่ ประกอบด้วย

2.8.1.1 เปลือกหรือโครง (Frame or Yoke) ทำด้วยเหล็กหล่อ (Cast iron) ม้วนเป็นรูปทรงกระบอก ทำหน้าที่ยึดขั้วแม่เหล็กและส่วนประกอบทั้งหมด และเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic circuit)

พจนานุกรมศัพท์วิศวกรรมไฟฟ้า



ภาพประกอบที่ 9 โครงของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.8.1.2 ขั้วแม่เหล็ก (Field pole) ทำมาจากแผ่นเหล็กบาง ๆ (Laminated sheet steel) โดยแต่ละแผ่นเคลือบฉนวน อัดซ้อนกันเป็นแท่งขั้วแม่เหล็ก ยึดติดกับด้านในของโครงเหล็กด้วยสกรู (Screw) ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งเพื่อรับรูปทรงกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole shoes) แต่มีมอเตอร์ขนาดเล็กบางชนิดจะหล่อขั้วแม่เหล็กเป็นเนื้อเหล็กผืนเดียวกับโครงมอเตอร์



ภาพประกอบที่ 10 ขั้วแม่เหล็ก

2.8.1.3 ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil or Field winding) เป็นขดลวดตัวนำหุ้มฉนวนพันไว้รอบขั้วแม่เหล็ก ทำหน้าที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อได้รับกระแสไฟฟ้ากระตุ้น (Excitation current) ขดลวดฟิลด์คอยล์มี 2 ชนิด คือ ขดลวดชั๊นท์ฟิลด์ (Shunt field) พันด้วยลวดเส้นเล็ก มีค่าความต้านทานสูงและขดลวดซีรีย์ฟิลด์ (Series field) พันด้วยขดลวดเส้นใหญ่มีค่าความต้านทานจะต่ำ



ภาพประกอบที่ 11 ขดลวดสนามแม่เหล็ก

2.8.1.4 แปรงถ่านและชุดยึดแปรงถ่าน (Brush and Brush Holder) แปรงถ่านทำมาจากคาร์บอนและแกรไฟต์ อัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า แปรงถ่านมีเส้นลวดตัวนำทองแดงฝอยตีเกลียว เพื่อต่อไปยังวงจรภายนอก แปรงถ่านถูกบรรจุอยู่ในชุดยึดแปรงถ่าน มีสปริงกดแปรงถ่านให้หน้าสัมผัสของแปรงถ่านกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาในขณะที่อาร์เมเจอร์หมุน ทำหน้าที่เชื่อมต่อวงจรขดลวดอาร์เมเจอร์จากคอมมิวเตเตอร์ไปยังวงจรภายนอก[5]



ภาพประกอบที่ 12 แปรงถ่านรูปแบบต่าง ๆ

2.8.1.5 ตลับลูกปืนหรือปลอกทองเหลือง (Bearing or Bush) ตลับลูกปืนจะยึดติดอยู่ที่ฝาครอบทั้ง 2 ด้านของมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวรองรับน้ำหนักจากเพลาส่วนหมุนกับฝาครอบด้านใน และลดแรงเสียดทานที่เพลาระหว่างที่อาร์เมเจอร์หมุน.





(ก) ตลับลูกปืน

(ข) ปลอกทองเหลือง

ภาพประกอบที่ 13 ตลับลูกปืนและปลอกทองเหลือง

2.8.1.6 ฝาปิดหัวท้ายหรือฝาครอบ (End plate) จากเหล็กหล่อเช่นเดียวกับโครง มอเตอร์ ทำหน้าที่บังคับให้อาร์เมเจอร์หมุนในแนวศูนย์กลางของสนามแม่เหล็กและอยู่ในศูนย์กลางของมอเตอร์ ด้านในของฝาครอบจะมีตลับลูกปืนหรือปลอกทองเหลืองรองรับแกนเพลลาของส่วนหมุน

## 2.8.2 ส่วนที่เคลื่อนที่ ประกอบด้วย

2.8.2.1 แกนเพลลา (Shaft) เป็นแกนเหล็กกลมยาว สำหรับสวมแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ และยึดคอมมิวเตเตอร์ ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลลานี้จะวางอยู่บนตลับลูกปืน เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวศูนย์กลางของมอเตอร์



ภาพประกอบที่ 14 ส่วนที่เคลื่อนที่

2.8.2.2 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature core) ทำด้วยแผ่นเหล็ก (Laminated sheet steel) เคลือบฉนวน อัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก ผิวด้านนอกโดยรอบทำเป็นร่อง (Slot) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์เป็นที่ใช้สำหรับบรรจุขดลวดอาร์เมเจอร์ และที่แกนเหล็กอาร์เมเจอร์จะเจาะรูไว้ด้วย เพื่อช่วยในการระบายความร้อนอันเนื่องมาจากการสูญเสีย



ภาพประกอบที่ 15 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์

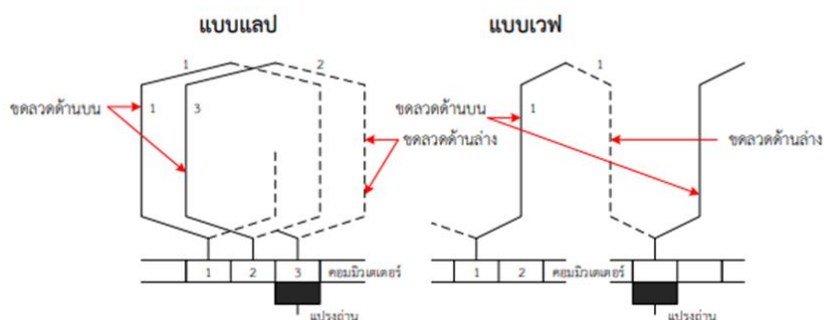
2.8.2.3 คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ประกอบด้วยแท่งทองแดงหลาย ๆ ชิ้น อัดเข้าด้วยกันเป็นวงแหวนทรงกระบอก สวมติดไว้บนเพลลาอันเดียวกันกับแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ระหว่างแท่งทองแดงแต่ละชิ้นจะคั่นด้วยฉนวนไมก้า (Mica) ส่วนหัวชี้ของคอมมิวเตเตอร์จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์เมเจอร์ คอมมิวเตเตอร์ทำหน้าที่เรียงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และนำกระแสไฟฟ้าจากแปรงถ่านเข้าไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์



ภาพประกอบที่ 16 คอมมิวเตเตอร์รูปแบบต่าง ๆ

2.8.2.4 ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature or Armature winding) เป็นขดลวดทองแดง เคลือบฉนวนที่พันและบรรจุลงในร่อง (Slot) ของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ ทำหน้าที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็กในอาร์เมเจอร์เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้ากระตุ้น มีการพันแบบแลป (Lap) หรือแบบเวฟ (Wave) ขึ้นอยู่กับการออกแบบมอเตอร์ชนิดนั้น ๆ ปลายของขดลวดจะถูกนำไปเชื่อมต่อเข้ากับซี่คอมมิวเตเตอร์ ดังแสดงในรูป





ภาพประกอบที่ 17 การพันอาร์เมเจอร์ แบบแลป (Lap) และ เวฟ (Wave)

## 2.9 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

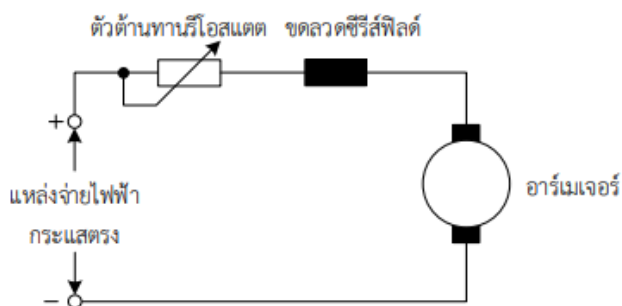
การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Speed control of DC Motor) โดยความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้าต้านกลับในอาร์เมเจอร์และเป็นสัดส่วนกลับของความเข้มของสนามแม่เหล็ก ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของสนามแม่เหล็กลดลง หรืออาจจะทำให้ความเร็วเพิ่มได้โดยเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายมอเตอร์ไฟฟ้าระหว่างอาร์เมเจอร์[6]

### 2.9.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Speed control of Series Motor) โดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมจะมีความเร็วสูงมากจึงจำเป็นต้อง มีการควบคุม ให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการ การควบคุมมี 2 วิธี

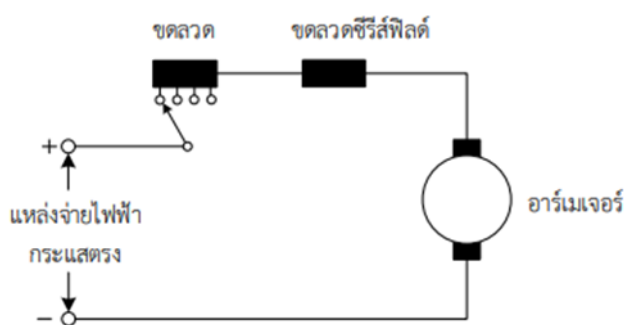
2.9.1.1 ใช้ตัวต้านทานรีโอสแตตการต่ออนุกรมกับวงจรมอเตอร์ ใช้ตัวต้านทานรีโอสแตตการต่ออนุกรมกับวงจรมอเตอร์เพื่อลดแรงดันไฟฟ้า และลดกระแสไฟฟ้าที่นิยมใช้เป็นแบบลวดนิโครม (Nichrome wire) และแบบแผ่นคาร์บอน (Carbon plate) เป็นต้น

พูน ปณ จิต ชีเว



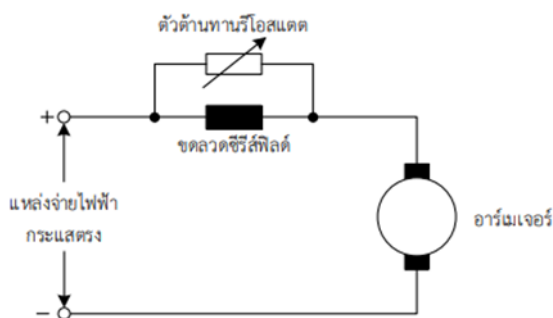
ภาพประกอบที่ 18 การควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้ตัวต้านทานรีโอสแตต

2.9.1.2 ใช้การแบ่งที่ขดลวดแม่เหล็ก (Tapped field coil) โดยการนำขดลวดแบบมีจุดต่อแยกต่อเข้ากับสวิตช์เลือก และต่ออนุกรมกับวงจรมอเตอร์เพื่อให้ทำการแบ่งความเร็วของมอเตอร์เป็นไปตามต้องการ.



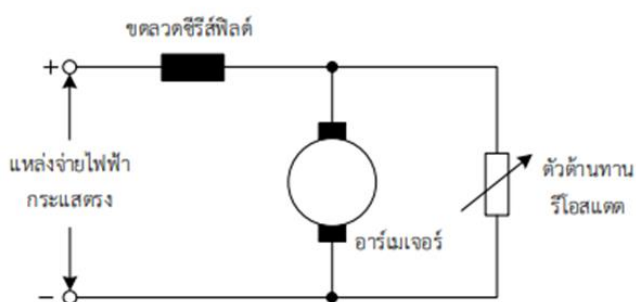
ภาพประกอบที่ 19 การควบคุมความเร็วโดยการแบ่งขดลวด

สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่มีกระแสสูง การควบคุมโดยความเร็วโดยการต่อความต้านทาน การปรับค่าความต้านทานหรือการเลื่อนปุ่มจะทำให้เกิดประกายไฟและเกิดความร้อนสูง จึงใช้วิธีแบ่งกระแสไฟฟ้าในขดลวดขั้วแม่เหล็ก (Field diverter) โดยนำความต้านทานปรับค่าได้ต่อขนาน กับขดลวดสนามแม่เหล็ก ใช้ปรับความเร็ว เมื่อต้องการความเร็วสูง กว่าความเร็วปกติ[7]



ภาพประกอบที่ 20 การควบคุมความเร็วมอเตอร์อนุกรมให้สูงกว่าความเร็วปกติ

เมื่อต้องการความเร็วต่ำกว่าความเร็วปกติใช้ความต้านทานปรับค่าได้ (Rheostat) ต่อขนานกับขดลวดอาร์เมเจอร์



ภาพประกอบที่ 21 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้ต่ำกว่าความเร็วปกติ

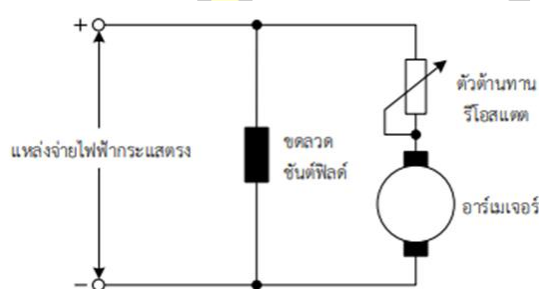
2.9.2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Speed control of shunt motor) มีวิธีการควบคุม 2 วิธี

การควบคุมความเร็วโดยการต่อความต้านทานอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ หรือ การควบคุมแบบรีโอสแตต (Speed control by Armature series resistance or Rheostat control method)

การควบคุมความเร็วโดยการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็ก หรือวิธีการควบคุมเส้นแรงแม่เหล็ก (Speed control by variation of flux or Flux control method)

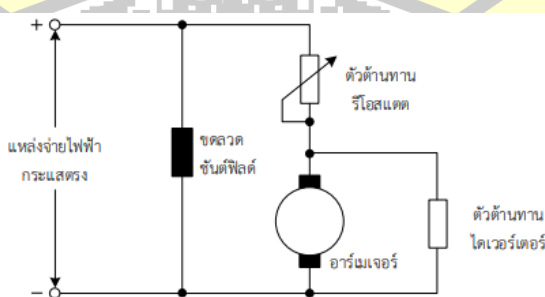
2.9.2.1 การควบคุมความเร็วโดยการต่อความต้านทานอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ หรือการควบคุมแบบรีโอสแตต เป็นวิธีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ (Variable rheostat) ต่ออนุกรมเข้ากับอาร์เมเจอร์ ความต้านทานที่ต่ออนุกรมนี้จะแตกต่างกับความต้านทานเริ่มเดินมอเตอร์ไฟฟ้า เพราะความต้านทานเริ่มเดินจะต่อในช่วงเวลาที่สั้นและจะถูกตัดออกจากวงจร แต่ความต้านทานที่ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าจะต่ออยู่ในวงจรตลอดเวลา การ

สูญเสียของตัวต้านทานของรีโอสแตตจะมีค่ามากที่ความเร็วต่ำทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าลดลง จึงไม่เหมาะสมกับการควบคุมความเร็วต่างในช่วงเวลานาน การควบคุมความเร็ววิธีนี้จะทำให้ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าต่ำกว่าความเร็วเมื่อไม่มีโหลด เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์มีค่าคงที่ การปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานรีโอสแตตจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอาร์เมเจอร์เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความต้านทานรีโอสแตต เป็นผลให้ความเร็วรอบของอาร์เมเจอร์เปลี่ยนแปลงด้วย ในกรณีที่แรงบิดของโหลดคงที่ความเร็วรอบจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอาร์เมเจอร์[7]



ภาพประกอบที่ 22 วงจรการควบคุมแบบรีโอสแตต

ถ้าโหลดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงตามโหลดด้วย สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มตัวต้านทานไดเวอร์เตอร์ (Diverter) โดยต่อ ขนานกับอาร์เมเจอร์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าในอาร์เมเจอร์จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ตกคร่อมอาร์เมเจอร์ รวมทั้งความเร็วของอาร์เมเจอร์ด้วย

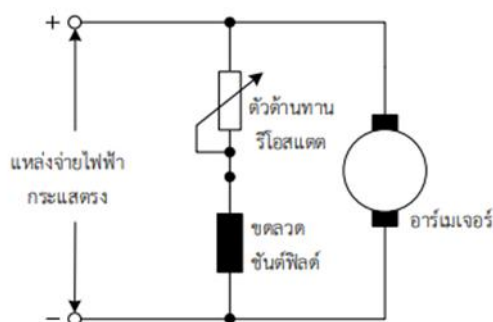


ภาพประกอบที่ 23 แสดงการต่อไดเวอร์เตอร์

ข้อเสียของการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน โดยการต่อความต้านทานอนุกรมกับอาร์เมเจอร์

- 1) การเปลี่ยนแปลงความเร็วไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของอุปกรณ์ควบคุมเพียงอย่างเดียว ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด จึงยากที่จะรักษาความเร็วให้คงที่เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลงในทันทีทันใด
- 2) เกิดกำลังสูญเสียจำนวนมากที่ความต้านทานของอุปกรณ์ควบคุมกำลังสูญเสียดังกล่าวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการลดลงของความเร็ว เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพลดลง
- 3) กำลังสูงสุดที่เกิดขึ้นจะลดลงเป็นอัตราส่วนเดียวกันกับความเร็ว
- 4) ต้องลดปริมาณความร้อนซึ่งเกิดขึ้นที่ความต้านทานของอุปกรณ์ควบคุม
- 5) การควบคุมความเร็วด้วยวิธีนี้จะได้ความเร็วต่ำกว่าความเร็วรอบปกติ ไม่สามารถที่จะควบคุมความเร็วให้สูงกว่าปกติได้ เพราะว่าแรงดันที่อาร์เมเจอร์ลดลงเนื่องจากค่าความต้านทานของอุปกรณ์ควบคุม

2.9.2.2 การควบคุมความเร็วโดยการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็ก หรือวิธีการควบคุมเส้นแรงแม่เหล็ก โดยใช้ความต้านทานรีโอสแตตต่ออนุกรมเข้ากับขดลวดชั้นดีฟิวด์ เพื่อควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดชั้นดีฟิวด์เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กลดลง จะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้นและถ้าเส้นแรงแม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความเร็วลดลง การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้าแบบนี้เป็นการควบคุมความเร็วที่ประหยัดที่สุดและสามารถเพิ่มความเร็วให้สูงกว่าปกติได้ในอัตราส่วน 2 : 1 สำหรับมอเตอร์ที่ไม่มีอินเตอร์โพล การลดลงของเส้นแรงแม่เหล็กมากกว่าปกติทำให้ยากต่อการลดการอาร์กในขณะหมุนขั้วโหลด ดังนั้นเครื่องที่มีอินเตอร์โพลจึงสามารถเพิ่มความเร็วให้สูงกว่าปกติได้มากกว่าปกติหลายเท่าอัตราส่วนของความเร็วสูงสุดถึงต่ำสุดจะอยู่ระหว่าง 6 : 1



ภาพประกอบที่ 24 วงจรการต่อตัวต้านทานรีโอสแตตควบคุมเส้นแรงแม่เหล็ก

ข้อดีของการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานโดย เปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็ก

การควบคุมความเร็ววิธีนี้ประหยัด สะดวก และให้ประสิทธิภาพสูงเป็นการควบคุม ความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้าให้สูงกว่าความเร็วรอบปกติ

ข้อเสียของการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานโดย เปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็ก

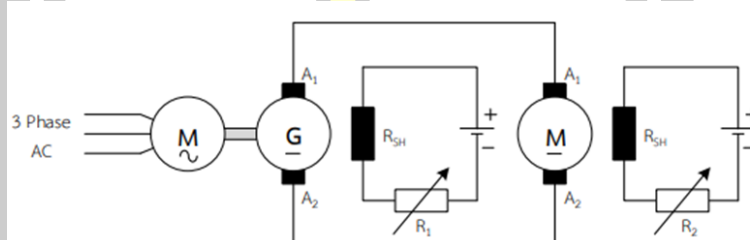
ผลจากอาร์เมเจอร์รีแอ็กชันทำให้เส้นแรงแม่เหล็กลดลงมาก ค่าการสูญเสียภายในขดลวด ชันด์ฟิลต์จะเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย เนื่องจากความต้านทานของวงจรชันด์ฟิลต์มีค่ามาก ค่ากระแสไฟฟ้าของขดลวดชันด์ฟิลต์จะน้อย

ความเร็วต่ำสุดของมอเตอร์ไฟฟ้าอยู่ที่ค่าความต้านทานของอุปกรณ์ควบคุมในวงจร ขดลวด ชันด์ฟิลต์มีค่าเป็นศูนย์เมื่อความเร็วรอบต่ำจะได้ค่าแรงบิดสูงสุด ดังนั้น การควบคุมความเร็วด้วยวิธีนี้ จึงเหมาะกับโหลดที่ต้องการแรงบิดมากเมื่อความเร็วรอบลดลง ส่วนความเร็วสูงสุดไม่มีขีดจำกัดทาง วงจรไฟฟ้าเนื่องจากอาร์เมเจอร์มีความเร็วสูง ความเค้นในโลหะที่ใช้ทำอาร์เมเจอร์เพิ่มมากขึ้นตาม แรงหนีศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้น พร้อมทั้งแรงเหวี่ยงที่กระทำกับลวดตัวนำในร่องอาร์เมเจอร์ อาจเป็น สาเหตุทำให้อาร์เมเจอร์และวงจรภายในเกิดความเสียหายได้

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองวิธีดังกล่าวข้างต้น ถ้านำมาใช้ควบคุม ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าตัวเดียวกัน ก็จะสามารถควบคุมความเร็วได้ทั้งสูงกว่าและต่ำกว่าความเร็ว ปกติได้ตามความต้องการ

### 2.9.3 การควบคุมความเร็วโดยการปรับขนาดของแรงดันอาร์เมเจอร์ด้วย วิธีวาร์ด-ลีโอนาร์ด

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยการปรับแรงดันอาร์เมเจอร์ด้วยวิธี ของวาร์ด-ลีโอนาร์ด (Speed control by Ward Leonard) สามารถควบคุมความเร็วได้ง่าย นุ่มนวล มี ย่านของการปรับความเร็วได้กว้าง ใช้ในวงจรที่ต้องการความแน่นอน เช่น ลิฟท์ เครื่องมือทดลองทางวิทยาศาสตร์เครื่องมือทางการแพทย์ เป็นต้น การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยวิธีนี้จะต้องท ากการปรับค่าของเส้นแรงแม่เหล็ก และแรงดันป้อนอาร์เมเจอร์ วิธีนี้จะประกอบด้วยเครื่องกลไฟฟ้าสามเครื่อง



ภาพประกอบที่ 25 วงจรการควบคุมความเร็วโดยปรับขนาดแรงดันอาร์เมเจอร์ด้วยวิธีวาร์ด-ลีโอนาร์ด

จากภาพประกอบที่ 25 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกวงจรกระแสกระตุ้น ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Separately excited generator) ถูกขับให้หมุนโดยมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส หรือ ซิงโครนัสมอเตอร์มีหน้าที่ควบคุมความเร็วของเครื่อง ก าเนิดให้คงที่ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าของความต้านทาน  $R_1$  ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเปลี่ยนแปลง เป็นผลทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เพื่อให้ได้ย่านของการปรับความเร็วกว้างที่สุดของวิธีวาร์ด-ลีโอนาร์ด จะใช้วิธี ปรับแต่งแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อต้องการ ความเร็วสูงกว่าความเร็วปกติ สามารถท าได้โดยเพิ่มค่าความต้านทาน  $R_2$  ในวงจรขั้วฟิลด์ของมอเตอร์ ไฟฟ้า เพื่อลดค่าของเส้นแรงแม่เหล็กให้น้อยลง ทำให้ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าสูงขึ้น จึงเป็นผลทำให้ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับมีค่าคงที่ และทำให้กระแสอาร์เมเจอร์มีค่าคงที่ ส่งผลทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ามีกำลัง เอาต์พุตคงที่ และเมื่อต้องการย่านความเร็วต่ำกว่าความเร็วปกติ ทำได้โดยเส้นแรงแม่เหล็ก จะต้องมีความคงที่ และลดแรงดันที่ป้อนอาร์เมเจอร์ ทำให้แรงดันไฟฟ้าต้านกลับลดลงเป็นสัดส่วนกับ การลดลงของแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์จะส่งผลให้



ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าลดลงด้วย ดังนั้นการปรับแต่งค่าแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าจึงทำให้อัตราการไหลของมอเตอร์ไฟฟ้ามีความเร็วต่ำกว่าความเร็วปกติและแรงบิดคงที่[7]

## 2.10 ค่าความหนืดของของเหลว (Viscosity of liquid)

ความหนืด คือค่าบอกคุณสมบัติความต้านทานการไหลในตัวกลางของเหลว ที่ต้านทานการไหลหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปตามภาชนะที่บรรจุ ของเหลวที่มีความหนืดสูงจะไหลได้ช้ากว่าของเหลวที่มีความหนืดต่ำ ยิ่งของเหลวมีความหนืดต่ำมากเท่าไรจะยิ่งมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปได้มากเท่านั้น

หน่วยของความหนืด Poise (P) หรือ centipoise (cPs) เป็นหน่วยของความหนืด (viscosity) ของของเหลวในระบบเมตริก ซึ่งเป็นระบบเดิม ระบบใหม่ใช้หน่วยของความหนืด SI มีหน่วยเป็น Pa.s คือ

$$1 \text{ P} = 1 \text{ dyne} \cdot \text{sec} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ หรือ } 1 \text{ P} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}$$

1 poise คือ แรงที่ใช้ทำให้ของเหลวที่มีพื้นที่หน้าตัด  $1 \text{ cm}^2$  หนา  $1 \text{ cm}$  เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $1 \text{ cm/sec}$  นิยมใช้ หน่วย centipoise ( $1 \text{ poise} = 100 \text{ centipoise}$ ) 1 centipoise มีค่าเท่ากับ  $0.01 \text{ poise}$  ดังนั้น[8]

$$1 \text{ Poise} = 100 \text{ Centipoise}$$

$$1 \text{ Centipoise} = 1 \text{ mPa} \cdot \text{s} \text{ (Millipascal Second)}$$

$$1 \text{ Poise} = 0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s} \text{ (Pascal Second)} \quad \text{Centipoise} = \text{Centistoke} \times \text{Density}$$

หากเราจะแปลงหน่วยของความหนืดจากระบบเมตริกซึ่งเป็นระบบเดิมเป็นระบบ SI ที่เป็นระบบใหม่สามารถคำนวณได้โดยคิดเป็น

$$10.00 \text{ P (Poise)} = 1.00 \text{ Pa} \cdot \text{s} \text{ (Pascal Second)}$$

$$1.00 \text{ cPs (Centipoise)} = 1.00 \text{ mPa} \cdot \text{s} \text{ (Millipascal Second)}$$

ยกตัวอย่างค่าความหนืดของของเหลวที่เราพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน เช่น น้ำบริสุทธิ์ มีความหนืดอยู่ที่  $1 \text{ cPs}$ , นม  $3 \text{ cPs}$ , น้ำเชื่อม  $5,000 \text{ cPs}$ , น้ำผึ้ง  $10,000 \text{ cPs}$ , ซ็อกโกแลต  $25,000 \text{ cPs}$ , ซอสมะเขือเทศ  $50,000 \text{ cPs}$ , มัสตาร์ด  $70,000 \text{ cPs}$ , ซาวครีม ค่าความหนืดที่  $100,000 \text{ cPs}$ , และเนยถั่วที่มีความหนืดสูงถึง  $250,000 \text{ cPs}$  ค่าความหนืดนี้เป็นค่าความหนืดที่วัดในอุณหภูมิห้องเท่านั้น

การรู้ค่าความหนืดในอุตสาหกรรมอาหารมีความสำคัญมาก เนื่องจากในกระบวนการผลิตเราจะต้องเลือกปั๊มหรือเครื่องจักรที่ต้องนำมาใช้งานกับของไหล ความหนืดของอาหารจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้เพื่อการออกแบบกรรมวิธีการผลิต กำหนดชนิดและขนาดของปั๊มหรืออุปกรณ์แปรรูปอาหาร เช่น กำหนดขนาดของมอเตอร์และชนิดของใบพัดที่ใช้เพื่อการผสม (mixing) ,การเลือกชนิดและขนาดของปั๊ม, กำหนดชนิดและขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) รวมทั้งกำหนดเวลาที่ใช้เพื่อกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน (thermal processing) เช่น การทำให้เข้มข้น[8]

## 2.11 สารเคมีทั่วไปในผลิตภัณฑ์กาว

2.11.1 กาวอีพอกซี อีพอกซีเป็นสารสังเคราะห์ที่มีอายุเก่าแก่ที่สุด ได้ถูกคิดค้นขึ้นในช่วงทศวรรษที่ 1940 ด้วยประวัติศาสตร์ที่ยาวนาน รวมถึงความไวต่อการทำปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้อีพอกซีเป็นหนึ่งในกาวที่มีความหลากหลายในการนำไปใช้มากที่สุด มีสูตรกาวสำหรับนำไปใช้ที่อุณหภูมิสูงและต่ำ มีทั้งแบบยัดหยุ่นตัวได้ดีและแบบแข็งแรงทนทาน อีกทั้งยังมีสูตรกาวแบบเหนียวและแบบเปราะ ฯลฯ กาวอีพอกซีถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานโครงสร้างที่ต้องแบกรับน้ำหนัก และมีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่สำหรับยึดติด ถูกใช้งานบ่อยในอุตสาหกรรมการบิน, การทหารและการขนส่ง ซึ่งกาวอีพอกซีจะถูกนำไปใช้เมื่อมีข้อกำหนดด้านอุณหภูมิหรือการสัมผัสสารเคมี

การทำปฏิกิริยาของอีพอกซีคือการพอลิเมอไรเซชันอย่างเป็นขั้นเป็นตอน หมายความว่าทุกการเกิดปฏิกิริยาในกลุ่ม “A” จะมีการเกิดปฏิกิริยาในกลุ่ม “B” ที่อีพอกซีสามารถทำปฏิกิริยาด้วยได้ สำหรับกาวที่มีส่วนประกอบสองชนิดได้แก่ ส่วน A และส่วน B จะอยู่คนละด้านและผสมกันผ่านหลอดผสม สำหรับกาวที่มีส่วนประกอบชนิดเดียว ส่วนประกอบนั้นจะทำปฏิกิริยากับความร้อน, แสงหรือแหล่งพลังงานอื่นๆเพื่อให้เกิดการแข็งตัว

คุณสมบัติหลัก

1. ความแข็งแรงขั้นสูงสุด
2. ด้านทานต่อสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิได้ดีเยี่ยม
3. อายุการเก็บรักษายาวนานในอุณหภูมิห้อง

สิ่งที่ต้องคำนึงถึง

1. ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา

2. พื้นผิวของวัสดุจำเป็นต้องสะอาดมาก
3. ต้นทุนสูตรค่อนข้างสูง

2.11.2 กาวยูรีเทน ยูรีเทน เป็นที่รู้จักและใช้งานในลักษณะต่างๆ อาทิเช่น โฟม, ยางสังเคราะห์ หรือชั้นเคลือบ ยูรีเทน เป็นกาวเรซินที่ดี และโดยส่วนใหญ่จะมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน ยกตัวอย่าง เช่น มีความยืดหยุ่น ทนทาน และสามารถดูดซับแรงที่มากกระทำได้ดี

กาวยูรีเทนจะพบได้บ่อยในอุตสาหกรรม อาทิเช่น การก่อสร้างที่จำเป็นต้องมีการผนึกกับวัตถุทั่วไป (ตัวอย่างเช่น ไม้, ก้อนอิฐ, คอนกรีต) อย่างไรก็ตามด้วยคุณสมบัติเฉพาะตัว ที่มีความยืดหยุ่นและการดูดซับแรงได้ดี ทำให้กาวยูรีเทน ถูกนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิเช่น การขนส่ง เป็นต้น

มีความคล้ายกันในองค์ประกอบทางเคมี เมื่อเทียบกับกาวอีพอกซี โดยปฏิกิริยาเคมีของยูรีเทนนั้นจะเกิดจากการพอลิเมอไรเซชันอย่างเป็นขั้นเป็นตอน จำเป็นต้องมีการเกิดปฏิกิริยาในกลุ่ม “A” และ “B” สำหรับกาวที่มีส่วนประกอบสองชนิดได้แก่ ส่วน A และส่วน B จะอยู่คนละด้านและผสมกันผ่านหลอดผสม สำหรับกาวที่มีส่วนประกอบชนิดเดียว ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นจากความชื้นโดยรอบ ( $H_2O$ ) ทำให้กาวแข็งตัวจากภายนอกเข้าสู่ภายใน

#### คุณสมบัติหลัก

1. คงความยืดหยุ่นเมื่อแห้งตัวแล้ว
2. ทนแรงฉีกขาดได้ดี
3. สามารถยึดติดกับวัสดุทั่วไปเกือบทั้งหมด และใช้อุดช่องว่างได้

#### สิ่งที่ต้องคำนึงถึง

1. ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา
2. สำหรับวัสดุที่เป็นแก้วและโลหะ แรงยึดติดอาจน้อยลงหากไม่ได้รับการทำความสะอาดพื้นผิวที่ดี
3. อายุการเก็บรักษาจำกัด ทนความชื้นได้ต่ำ

2.11.3 กาวอะคริลิก ไฮยาโนอะคริเลต (หนึ่งในตัวอย่างของกลุ่มสารเคมีอะคริลิก) ถูกค้นพบในช่วงสงครามโลกครั้งที่สองในขณะที่ทำการค้นคว้าเกี่ยวกับวัสดุพลาสติกเพื่อใช้เป็นอาวุธ เดิมทีเทคโนโลยีนี้ถูกมองข้ามเนื่องจากสารดังกล่าว ยึดติดกับวัสดุทุกอย่างในทันทีระหว่างอยู่กระบวนการผลิต ตั้งแต่นั้นมา สารเคมีกลุ่มอะคริลิกได้ถูกวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยมีการใช้ส่วนประกอบสองชนิด หรืออาจทำให้แข็งตัวด้วยแสง และมีรูปแบบที่หลากหลายเพื่อการนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ

กาวอะคริลิกชนิดเหลว มีจุดเด่นเรื่องความเร็วในการแข็งตัว กาวอะคริลิกบางชนิดสามารถทนแรงเหวี่ยงได้มากถึง 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้วภายในเวลาไม่ถึงนาที ความเร็วของการแห้งตัวและคุณสมบัติเรื่องความแข็งแรงทำให้กาวอะคริลิกเหมาะสำหรับกระบวนการที่มีปริมาณงานมาก อาทิเช่น สีน้า อิเล็กทรอนิกส์

ปฏิกิริยาของกาวอะคริลิกที่มีส่วนประกอบสองชนิดจะเรียกว่า “radical polymerization” หนึ่งในส่วนประกอบจะมี “ตัวริเริ่ม” (initiator) ที่อนุญาตให้ปฏิกิริยาเริ่มต้นขึ้น เมื่อเริ่มขึ้นแล้ว กระบวนการพอลิเมอไรเซชันจะเกิดขึ้นด้วยความรวดเร็ว หนึ่งในส่วนประกอบจะมี “ตัวริเริ่ม” (initiator) ที่อนุญาตให้ปฏิกิริยาเริ่มต้นขึ้น เมื่อเริ่มขึ้นแล้ว กระบวนการพอลิเมอไรเซชันจะเกิดขึ้นด้วยความรวดเร็ว อะคริลิกสามารถผสมให้เข้ากันกับน้ำและใช้แทนกาวชนิดพ่นหรือทาทับได้ ส่วนมากจะใช้ในการยึดติดชั้นลามิเนตบนพื้นผิวขนาดใหญ่

#### คุณสมบัติหลัก

1. แห้งตัวเร็ว
2. ความสามารถในการยึดติดกับวัสดุที่หลากหลาย
3. ต้องการการเตรียมพื้นผิวเพียงเล็กน้อย

#### สิ่งที่ต้องคำนึงถึง

1. มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้น้อยกว่ากาวอีพอกซีหรือกาวยูรีเทน
2. ต้องการการเก็บรักษาที่ถูกต้อง
3. เนื้อกาวมีความแข็งแรงแต่เปราะ หากต้องการเพิ่มความแข็งแรงจำเป็นต้องเติมสารหรือเสริมแรงด้วยวัสดุอื่นๆ

2.11.4 กาวซิลิโคน ซิลิโคนเหลวมีแรงดึงผิวที่ต่ำมาก หมายความว่าซิลิโคนเหลวสามารถกระจายตัวออกได้บนพื้นผิวที่หลากหลาย – รวมทั้งวัสดุพลังงานพื้นผิวต่ำเช่น PTFE ไม่แปลกใจเลยที่ซิลิโคนยึดติดและอุดรอยรั่วได้อย่างดีบนทุกพื้นผิวในบ้านตั้งแต่ห้องครัวไปจนถึงห้องน้ำ

กาวซิลิโคนเหลวรู้จักกันในนามว่า “ยานวรอยต่อ” ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการยึดติดวัสดุได้หลายชนิด อีกทั้งยังทนอุณหภูมิสูงและสารเคมีได้ดี ทำให้กาวซิลิโคนเหมาะสำหรับการใช้งานยึดติดในหลายอุตสาหกรรม มีต้นทุนที่ค่อนข้างต่ำ นิยมใช้งานในอาคารและการก่อสร้าง ซิลิโคนที่มีส่วนประกอบสองชนิด มีคุณสมบัติในการทนอุณหภูมิสูงได้ดี สามารถใช้กับงานที่ต้องเจอกับแสงอาทิตย์

เคมีกลุ่มซิลิโคนมีกลไกการทำปฏิกิริยาที่คล้ายกันกับยูรีเทน แต่ด้วยความเป็นสารสังเคราะห์ (โดเนมิซิลิโคนเป็นเคมีหลักแทนกลุ่มคาร์บอน) ทำให้มีคุณสมบัติในการทนอุณหภูมิสูง ในกระบวนการเสริมการเติมน้ำมันจะช่วยให้กาวกระจายตัวบนผิววัสดุได้ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบส่วนประกอบชนิดเดียว เมื่อมีการซึมออกของน้ำมันด้านใน อาจทำให้เกิดปัญหาด้านความสวยงามและมีผลต่ออายุการใช้งานของกาวได้

#### คุณสมบัติหลัก

1. ซิลิโคนเป็นวัสดุติดยาก ซึ่งซิลิโคนก็จะมีความสามารถในการต้านการเกิดเชื้อราด้วย
2. ทนอุณหภูมิสูงได้
3. มีความยืดหยุ่น สามารถใช้เป็นยาแนวได้

#### สิ่งที่ต้องคำนึงถึง

1. ความแข็งแรงต่ำ
2. น้ำมันภายในอาจซึมออกได้
3. อาจมีการเลอะออกพื้นที่บริเวณที่ทำงาน เนื่องจากการไหลตัว

2.11.5 กาวยาง ยางธรรมชาติมีการใช้เป็นกาวมาตั้งแต่ก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรม จนถึงทุกวันนี้ ยางธรรมชาติที่ถูกนำมาผลิตเป็นกาวจะต้องถูกรมควันเพื่อฆ่าเชื้อราหรือแบคทีเรีย ไม่เช่นนั้นอาจจะส่งผลต่อการยึดติดในระยะยาว (เคมีของการ "การรมควัน" มีความคล้ายคลึงกับเคมีการรมควันเนื้อสัตว์เพื่อถนอมอาหาร)

ยางที่ใช้ในการผลิตกาวมีหลายประเภท อาจจะเป็นยางจากธรรมชาติ หรืออาจจะเป็นยางสังเคราะห์ เช่น พอลิคลอโรพรีน(นีโอพรีน) หรือสไตรีนบิวตะไดอีน (SBR) คุณสมบัติในเรื่องความเหนียวทำให้กาวมีความน่าสนใจ ตอบโจทย์ในเรื่องราคาของการلامีเนตงานที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ หรือ มีความแข็งแรงในการรับน้ำหนักเบื้องต้นได้ทันที โดยที่ไม่ต้องรอให้มีความแข็งแรงเต็มที่

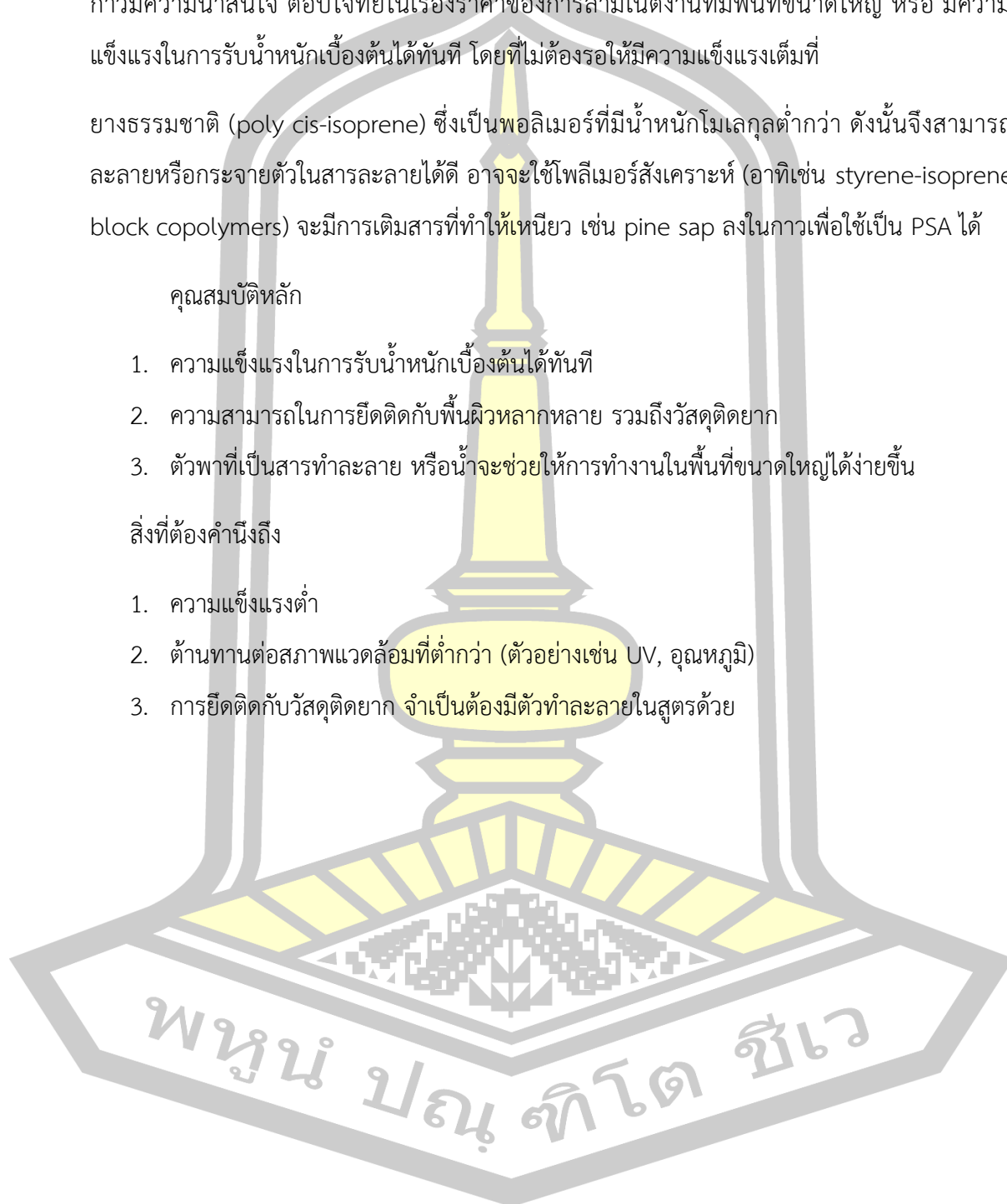
ยางธรรมชาติ (poly cis-isoprene) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า ดังนั้นจึงสามารถละลายหรือกระจายตัวในสารละลายได้ดี อาจจะใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์ (อาทิเช่น styrene-isoprene block copolymers) จะมีการเติมสารที่ทำให้เหนียว เช่น pine sap ลงในกาวเพื่อใช้เป็น PSA ได้

#### คุณสมบัติหลัก

1. ความแข็งแรงในการรับน้ำหนักเบื้องต้นได้ทันที
2. ความสามารถในการยึดติดกับพื้นผิวหลากหลาย รวมถึงวัสดุติดยาก
3. ตัวพาที่เป็นสารทำละลาย หรือน้ำจะช่วยให้การทำงานในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ง่ายขึ้น

#### สิ่งที่ต้องคำนึงถึง

1. ความแข็งแรงต่ำ
2. ต้านทานต่อสภาพแวดล้อมที่ต่ำกว่า (ตัวอย่างเช่น UV, อุณหภูมิ)
3. การยึดติดกับวัสดุติดยาก จำเป็นต้องมีตัวทำละลายในสูตรด้วย



## 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Boris M. Smirnov and R. Stephen Berry) ได้นำเสนอการเจริญเติบโตของฟองอากาศในของเหลว , วิวัฒนาการของก๊าซที่ฉีดเข้าไปในของเหลวได้รับการวิเคราะห์โดยใช้ตัวอย่างของพฤติกรรมของโมเลกุลออกซิเจนในน้ำซึ่งฟองอากาศของโมเลกุลก๊าซเติบโตเข้าโดยการยึดโมเลกุลของก๊าซเข้ากับฟองอากาศจากนั้นฟองอากาศจะเชื่อมโยงและในที่สุดก็ไหลขึ้นสู่ส่วนต่อประสานของเหลวและก๊าซและผ่านเข้าสู่เฟสก๊าซมี สองวิธีสำหรับการฉีดก๊าซในของเหลวการแทรกโมเลกุลแต่ละโมเลกุลและการฉีดฟองก๊าซขนาดเล็กผ่านการเจาะก๊าซผ่านวัสดุที่มีรูพรุน มีการวิเคราะห์พฤติกรรมของฟองออกซิเจนในน้ำและการเจริญเติบโตของฟองอากาศเหล่านั้น ต่อจากนั้นฟองอากาศที่ปลุกเหล่านี้ลอยขึ้นและหายไปหรือไปถึงขอบเขตน้ำอันเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ที่ปั่นป่วนของของเหลว เป็นต้น

(วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล) ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาใบพัดกวนผสมสำหรับของไหลที่มีความหนืดด้วยองค์ความรู้จากสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล , วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อแสดงรูปแบบสนามการไหลแบบปั่นป่วนภายในถังกวนผสม โดยของไหลที่ทำการจำลอง เป็น ผลิตภัณฑ์มะม่วงกวนที่มีความหนืดเฉลี่ยเท่ากับ 1.8 Pa.s ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส ขั้นตอนการศึกษาเริ่มต้นจากการใช้ ใบพัดกวนผสมแบบทำมุม 45 องศา (Pitch blade) ที่ได้จากการพัฒนามาจากสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์เลขที่ 62881 หลังจากนั้น ผลงานสำหรับการผลิตของเครื่องกวนผสมก็ได้รับการปรับให้เหมาะสมกับการทำงานจริง ใบพัดกวนผสมที่ออกแบบใหม่มี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 334 มม. และถังผสมที่คำนวณได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,002 มม. และมีความสูง 1,002 มม. เครื่อง ผสมมะม่วงถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเฟสเดียวขนาด 1 แรงม้า โดยใช้สายพานส่งกำลัง การออกแบบและจำลองผลลัพธ์เชิงตัวเลขในงานวิจัยนี้ นักวิจัยต้องการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของความเร็วในการหมุนสำหรับการกวนผสม ดังนั้นจึงเลือกความเร็วใน การผสมที่ 10, 15, 20, 25 และ 30 รอบต่อนาที ตามลำดับ ผลการจำลองเชิงตัวเลขและการเปรียบเทียบเพื่อแสดงผลกระทบของการ ออกแบบต่อตัวแปรที่คำนวณด้วยมือ ตัวแปรที่ได้จากการคำนวณและการจำลองเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหลในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องกวนผสมในแบบต่าง ๆ ได้ในอนาคต

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิจชัย จิตขจรวานิช) ได้นำเสนอเรื่อง กาวAdhesive , บทความนี้เป็นกรรรวบรวมสาระต่างๆ เพื่อแนะนำ ให้รู้จักกับกาว ในฐานะที่เป็น องค์ประกอบหนึ่งใน



กระบวนการของงานโครงสร้างในงานสถาปัตยกรรม เนื้อหาของบท ความได้อธิบายถึงประวัติความเป็นมา ความหมาย การใช้งาน ข้อดีและข้อเสียของกาว ดังนั้นจะเห็นได้ว่า กาวสามารถใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการยึดติดวัสดุต่างๆ เข้าด้วยกันได้ สำหรับความเหมาะสมในการเลือกใช้กาวนั้น จำเป็นจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ทั้งการ คำนึงถึงคุณสมบัติทางกายภาพของกาว องค์ประกอบทางวิศวกรรมเคมี และลักษณะ การใช้งาน ได้แก่ ความแข็งแรงทนทานที่ต้องการ ลักษณะการรับแรงทางวิศวกรรมของ ชิ้นงาน การต้านทานต่อสภาพแวดล้อม ระยะเวลาของการแข็งตัว เป็นต้น นอกจากนี้บทความนี้ได้เน้นการพิจารณาการกับงานอุตสาหกรรมการก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กาวอีพ็อกซีกับกาวโพลียูรีเทน ซึ่งเป็นกาวที่ใช้เฉพาะสำหรับงานโครงสร้างผนังรับน้ำ หนัก แบบ Structural Sandwich Panels หรือ Structural Insulated Panels (SIPs)

(Padmaraja Yedamale) ได้นำเสนอพื้นฐานมอเตอร์ Brushless DC (BLDC) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน (BLDC) เป็นหนึ่งในมอเตอร์ประเภทมอเตอร์กำลังได้รับความนิยมอย่างรวดเร็ว มอเตอร์บีแอลดีซีใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า, ยานยนต์, การบินและอวกาศ ผู้บริโภค การแพทย์ ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรมอุปกรณ์และเครื่องมือวัด



### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากฟองอากาศที่เกิดขึ้นในเนื้อกาว ของกระบวนการประกอบเลนส์กล้องถ่ายภาพ ในขั้นตอนการเติมผลิตภัณฑ์กาวเข้าสู่หลอดกาว โดยเริ่มทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนการเติมผลิตภัณฑ์กาวเข้าสู่หลอดกาวเพื่อหาเทคนิคที่สามารถลดฟองอากาศในเนื้อกาว จากนั้นนำปัญหามาทำการหาวิธีแก้ไข ในส่วนการวิเคราะห์ปัญหาได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 และบทที่ 2 ในบทนี้จะเป็นขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อ

- 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
- 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย
- 3.3 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการศึกษาและวิจัยเทคนิคลดฟองอากาศในเนื้อกาวจากกระบวนการประกอบเลนส์กล้อง ซึ่งมี กระบวนการทั้งหมดดังภาพประกอบที่ 26 โดยจะเริ่มทดลองการตรวจนับจำนวนฟองอากาศในเนื้อกาว ชนิด A ด้วยเครื่อง bubble eliminator M/C เป็นตัวตั้งต้นของจำนวนฟองอากาศในการทดลองด้วยเทคนิคอื่นๆ โดยใช้หลักการประมวลผลด้วยภาพถ่ายมาตรวจนับจำนวนฟองอากาศในเนื้อกาว ชนิด A และการลดจำนวนฟองอากาศในเนื้อกาว ชนิด A สามารถแบ่งเทคนิคในการลดฟองอากาศในเนื้อกาว ชนิด A ได้ 4 เทคนิคดังนี้

1. เครื่อง bubble eliminator M/C
2. เทคนิคลูกสูบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า DC
3. เทคนิคลูกสูบมอเตอร์สันไฟฟ้า DC
4. เทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 5 มุมอาศา ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า DC

โดยในเทคนิคที่ 4 การทดลองแรงเหวี่ยงมุม จะแบ่งออกได้ 5 มุมเหวี่ยงดังนี้

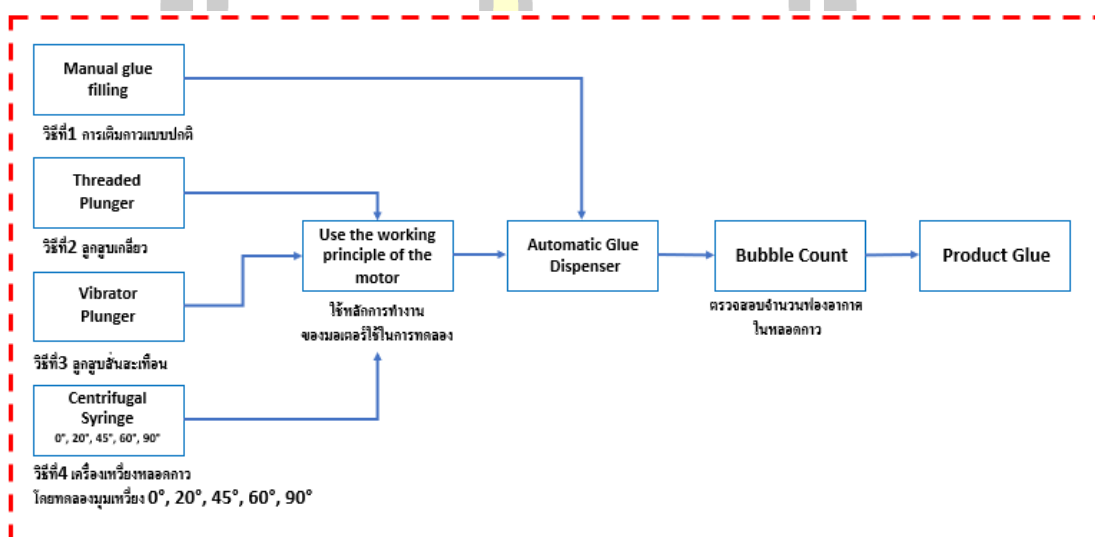
- 4.1 มุม 0 องศา

4.2 มุม 20 องศา

4.3 มุม 45 องศา

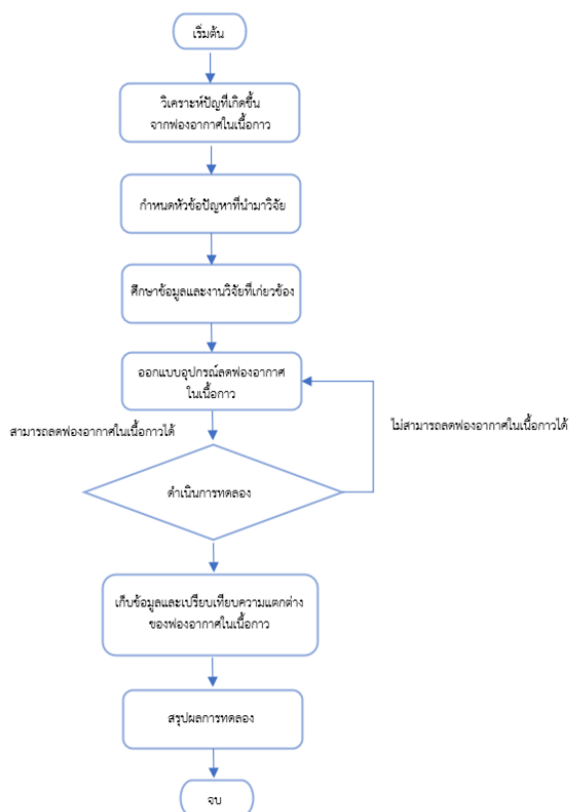
4.4 มุม 60 องศา

4.5 มุม 90 องศา



ภาพประกอบที่ 26 กระบวนการของอุปกรณ์ลดฟองอากาศในเนื้อกาว





ภาพประกอบที่ 27 ขั้นตอนการทำวิจัย

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

#### 3.2.1 มอเตอร์กระแสตรง 24 VDC

มอเตอร์กระแสตรงขนาดเล็กจึงเป็นเรื่องยากมากที่จะได้รับแรงบิดสูง เพื่อให้มอเตอร์กระแสตรงมีแรงบิดสูงและรอบต่อนาทีต่ำจำเป็นต้องใช้กระปุกเกียร์ มอเตอร์ DC Gear ใช้มอเตอร์ DC ธรรมดาควบคู่ไปกับกระปุกเกียร์ที่ตรงกัน เมื่อเทียบกับมอเตอร์เกียร์ dc 48 มม. อื่น ๆ ที่คล้ายกันมอเตอร์ I.CH มีแรงดันไฟฟ้าที่เป็นตัวเลือกมากกว่า แรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแรงบิดสูงอาจเป็น 12V หรือ 24V กล่าวคือสามารถใช้งานได้หลายอย่างที่ผลิตภัณฑ์อื่นไม่สามารถทำได้ คุณสมบัติที่โดดเด่นคือการออกแบบที่ผสมผสานรวมกันของมอเตอร์และหัวเกียร์ทรงรีช่วยแก้ปัญหาสำหรับแรงบิดสูงและความเร็วต่ำ ด้วยกระปุกเกียร์ไข่คุณจะได้รับ RPM และแรงบิดที่แตกต่างกัน



ภาพประกอบที่ 28 มอเตอร์ 12 VDC

### 3.2.2 วงจรควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ให้หมุนตามความเร็วที่เราต้องการ การควบคุมความเร็วจะใช้โวลุ่มเป็นตัวปรับความเร็ว นอกจากนั้นยังสามารถปรับความถี่เพื่อให้เหมาะสมกับมอเตอร์



ภาพประกอบที่ 29 วงจรควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

### 3.2.3 มอเตอร์สั่นสะเทือน

มอเตอร์เขย่า หรือบางที่เรียก มอเตอร์สั่น เป็นมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการนำกำลังที่เกิดจากการสั่นสะเทือนไปใช้ประโยชน์ โดยทิศทางการสั่นสามารถสั่นได้ 360 องศา ลักษณะการสั่นเป็นวงกลม ลักษณะการทำงาน เมื่อป้อนไฟเข้ามอเตอร์ มอเตอร์จะทำงานโดยการหมุนของโรเตอร์จะทำให้ลูก

เบี้ยวที่ติดอยู่ข้างมอเตอร์ทั้งสองข้างทำงาน ทำให้เกิดการเหวี่ยงตัว แรงเหวี่ยงนั้นทำให้เกิดการสั่นของมอเตอร์ และใช้กำลังการสั่นนั้นไปใช้งานต่อไปตามความเหมาะสมของชิ้นงาน

ภาพประกอบที่ 30 มอเตอร์สั่นสะเทือน

### 3.2.4 Microsoft Excel

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



ภาพประกอบที่ 31 Microsoft Excel

พูน ปณ จิโต ชีเว

### 3.3 วิธีการเก็บข้อมูลและการเปรียบเทียบข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองดังนี้

#### 3.3.1 การเก็บผลการวิจัย

ในการทดลองจะเก็บข้อมูลจำนวนฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ใช้วิธีทดลอง 4 เทคนิค โดยจะใช้หลักการประมวลผลภาพมาตรวจนับจำนวนฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ซึ่งในการทดลองนั้นจะเก็บตัวอย่างฟองอากาศจากผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A จำนวนเทคนิคละ 10 ตัวอย่าง

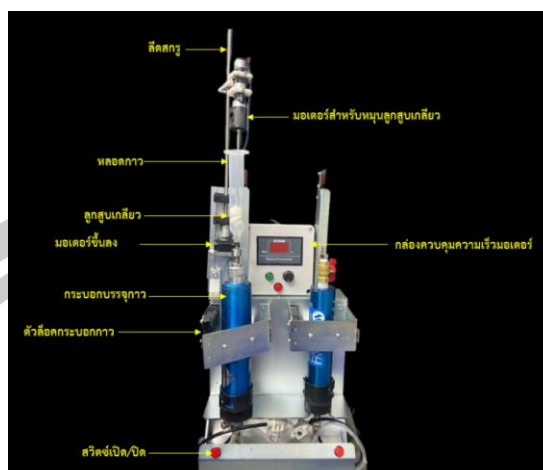
1. ในการทดลองจะเก็บข้อมูลของจำนวนฟองอากาศ จากวิธีการเติมผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ที่บรรจุลงหลอดกาว และจำนวนฟองอากาศที่ได้จากเครื่อง bubble eliminator M/C โดยเครื่องทำงานด้วยการปั่นหลอดกาวที่บรรจุ สามารถบรรจุหลอดกาวได้ 16 หลอด ใช้มอเตอร์ AC 220V ปั่นด้วยความเร็ว 2800 ต่อนาที ทำงานด้วยเวลา 15 นาทีต่อรอบ ซึ่งจะเก็บข้อมูลจำนวนฟองอากาศดังกล่าวมาเป็นจำนวนมาตรฐานกำหนดของจำนวนฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A จากเทคนิคอื่นๆ



ภาพประกอบที่ 32 bubble eliminator M/C

2. การลดจำนวนฟองอากาศในเนื้อกาวด้วยเทคนิคที่ 2 เทคนิคสุบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า DC โดยวิธีนี้ใช้มอเตอร์ DC 24V ความเร็วรอบ 130 รอบต่อนาที ทำงานควบคู่กับเครื่องเติมกาวอัตโนมัติ ทำการเก็บข้อมูลจำนวนฟองอากาศทั้งก่อนและหลัง[9]





ภาพประกอบที่ 33 ลูกสูบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า DC และเครื่องเดิมกาวอัตโนมัติ

3. การลดจำนวนฟองอากาศในเนื้อกาวด้วยเทคนิคที่ 3 เทคนิคลูกสูบมอเตอร์สั่นไฟฟ้า DC โดยวิธีนี้ใช้มอเตอร์สะเทือน DC 5V ทำงานด้วยความเร็ว  $15500 \pm 15\%$  รอบต่อนาที ทำงานควบคู่กับเครื่องเดิมกาวอัตโนมัติ ทำการเก็บข้อมูลจำนวนฟองอากาศทั้งก่อนและหลัง



ภาพประกอบที่ 34 ลูกสูบมอเตอร์สั่นไฟฟ้า DC

4. การลดจำนวนฟองอากาศในเนื้อกาวด้วยเทคนิคที่ 4 เทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 5 องศา ด้วย STEPPER MOTOR ยึดกับแกนหมุนที่จะใช้เหวี่ยงหลอดกาว ความเร็วในการเหวี่ยงหลอดกาวอยู่ที่ 480 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการทดลอง มี 2 ระยะดังนี้ 1. 5 นาที 2. 10 นาที 3. 15 นาที และมุมเหวี่ยงหลอดกาว 5 องศา ดังนี้ มุม 0 องศาจากแกนหมุนมุม 20 องศาจากแกนหมุนมุม 45 องศาจากแกนหมุน มุม 60 องศาจากแกนหมุนมุม และ 90 องศาจากแกนหมุน ทำการเก็บข้อมูลจำนวนฟองอากาศทั้งก่อนและหลัง



ภาพประกอบที่ 35 มุมเหวี่ยงหลอดกา



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

สำหรับในบทที่ 4 จะกล่าวถึงผลการดำเนินการงานวิจัย โดยเริ่มจาก ผลการเก็บข้อมูลจำนวนของฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวชนิด A ก่อนการลดจำนวนฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวชนิด A และเก็บข้อมูลจำนวนฟองอากาศในเนื้อผลิตภัณฑ์กาวชนิด A จากเครื่อง bubble eliminator M/C จากนั้นจะทำการเก็บข้อมูลของการวิธีการลดฟองอากาศในเนื้อผลิตภัณฑ์กาวชนิด A ในแต่ละเทคนิค แล้วนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานกำหนดของจำนวนฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ในบทนี้ จะนำเสนอเนื้อหา ในส่วนผลการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 ผลการเก็บข้อมูลการลดจำนวนฟองอากาศในเนื้อผลิตภัณฑ์กาวชนิด A แต่ละเทคนิค

4.2 ผลการเปรียบเทียบการลดจำนวนฟองอากาศในเนื้อผลิตภัณฑ์กาวชนิด A แต่ละเทคนิค

#### 4.1 ผลการเก็บข้อมูลการลดจำนวนฟองอากาศเนื้อผลิตภัณฑ์กาวชนิด A แต่ละเทคนิค

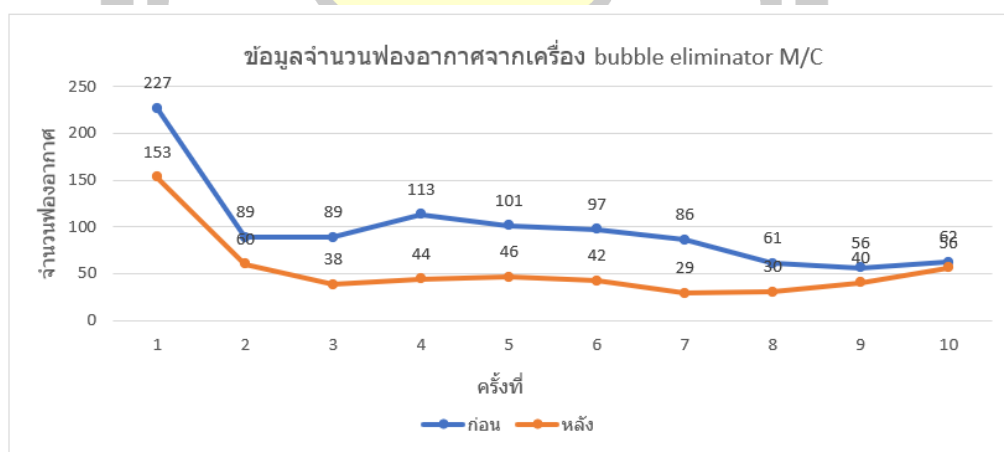
4.1.1 ผลการเก็บข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากเครื่อง bubble eliminator M/C

1. ผลการเก็บข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากเครื่อง bubble eliminator M/C โดยจะนำข้อมูลที่ได้อีกกำหนดเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับเทคนิคต่างๆผลการเก็บข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากเครื่อง bubble eliminator M/C ดังตารางที่ 1

พหุ ประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากเครื่อง bubble eliminator M/C

| ครั้งที่ | ก่อน                                                                                |               | หลัง                                                                                |               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|          | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ |
| 1        |    | 227           |    | 153           |
| 2        |    | 89            |    | 60            |
| 3        |    | 89            |    | 38            |
| 4        |    | 113           |    | 44            |
| 5        |    | 101           |    | 46            |
| 6        |    | 97            |    | 42            |
| 7        |    | 86            |    | 29            |
| 8        |   | 61            |   | 30            |
| 9        |  | 56            |  | 40            |
| 10       |  | 62            |  | 56            |



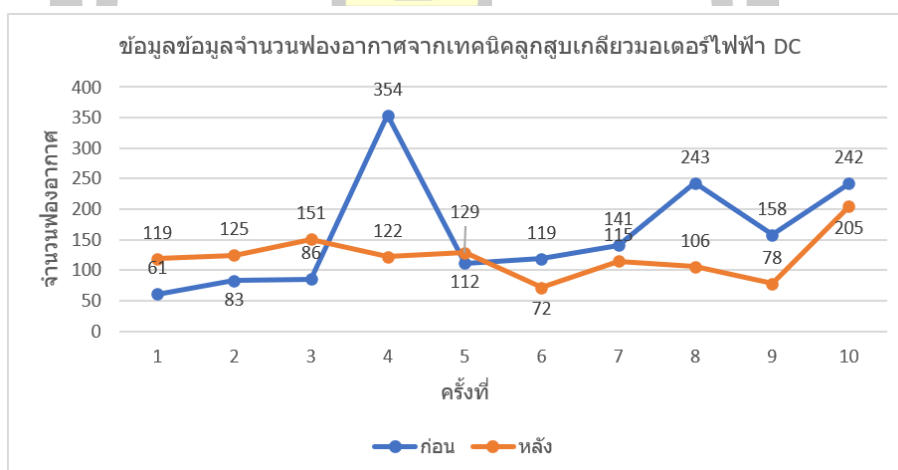
ภาพประกอบที่ 36 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากเครื่อง bubble eliminator M/C

#### 4.1.2 ผลการเก็บข้อมูลข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากเทคนิคลูกสูบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า DC

ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากเทคนิคลูกสูบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า DC

| ครั้งที่ | ก่อน                                                                                |               | หลัง                                                                                |               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|          | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ |
| 1        |    | 61            |    | 119           |
| 2        |    | 83            |    | 125           |
| 3        |    | 86            |    | 151           |
| 4        |    | 354           |    | 122           |
| 5        |    | 112           |    | 129           |
| 6        |    | 119           |    | 72            |
| 7        |    | 141           |    | 115           |
| 8        |  | 243           |  | 106           |
| 9        |  | 158           |  | 78            |
| 10       |  | 242           |  | 205           |

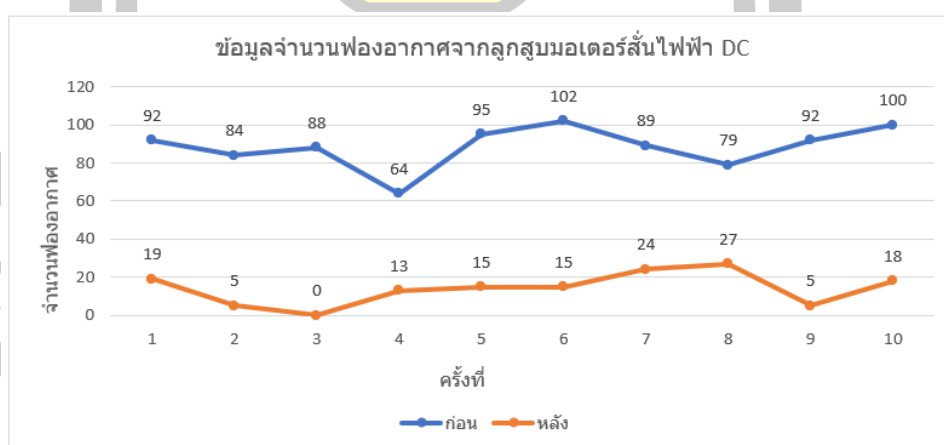


ภาพประกอบที่ 37 ข้อมูลข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากเทคนิคลูกสูบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า DC

#### 4.1.3 ผลการเก็บข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากลูกสูบมอเตอร์ไฟฟ้า DC ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากลูกสูบมอเตอร์สั่นไฟฟ้า DC

| ครั้งที่ | ก่อน                                                                                |               | หลัง                                                                                |               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|          | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ |
| 1        |    | 92            |    | 19            |
| 2        |    | 84            |    | 5             |
| 3        |    | 88            |    | 0             |
| 4        |    | 64            |    | 13            |
| 5        |    | 95            |    | 15            |
| 6        |    | 102           |    | 15            |
| 7        |   | 89            |   | 24            |
| 8        |  | 79            |  | 27            |
| 9        |  | 92            |  | 5             |
| 10       |  | 100           |  | 18            |



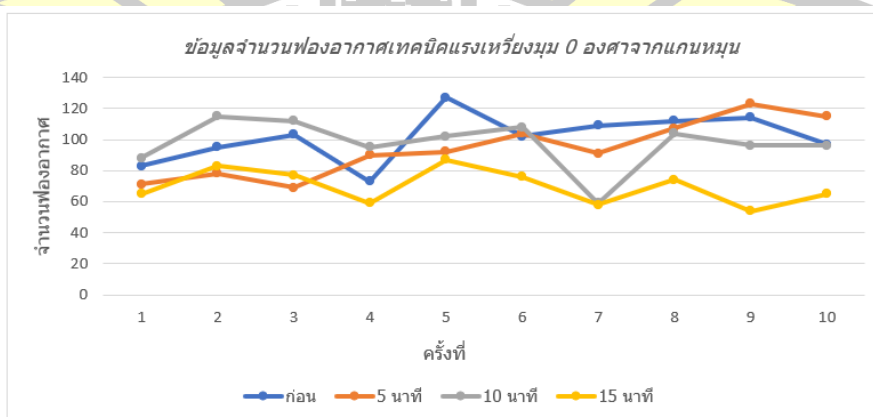
ภาพประกอบที่ 38 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศจากลูกสูบมอเตอร์สั่นไฟฟ้า DC

#### 4.1.4 ผลการเก็บข้อมูลเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 5 มุมอากาศ ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า DC โดยเทคนิคนี้แบ่ง เหวี่ยงออกเป็น 5 มุมองศา ดังนี้

4.1.4.1 มุม 0 องศาจากแกนหมุน โดยมีระยะเวลาในการทดสอบ 3 ช่วงระยะเวลา ดังตาราง  
ที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 0 องศาจากแกนหมุน

| ครั้งที่ | ก่อน                                                                                |               | 5 นาที                                                                              |               | 10 นาที                                                                             |               | 15 นาที                                                                               |               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|          | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                                | จำนวนฟองอากาศ |
| 1        |    | 83            |    | 71            |    | 88            |    | 65            |
| 2        |    | 95            |    | 78            |    | 115           |    | 83            |
| 3        |    | 103           |    | 69            |    | 112           |    | 77            |
| 4        |    | 73            |    | 90            |    | 95            |    | 59            |
| 5        |   | 127           |   | 92            |   | 102           |   | 87            |
| 6        |  | 102           |  | 104           |  | 108           |  | 76            |
| 7        |  | 109           |  | 91            |  | 59            |  | 58            |
| 8        |  | 112           |  | 107           |  | 104           |  | 74            |
| 9        |  | 114           |  | 123           |  | 96            |  | 54            |
| 10       |  | 97            |  | 115           |  | 96            |  | 65            |

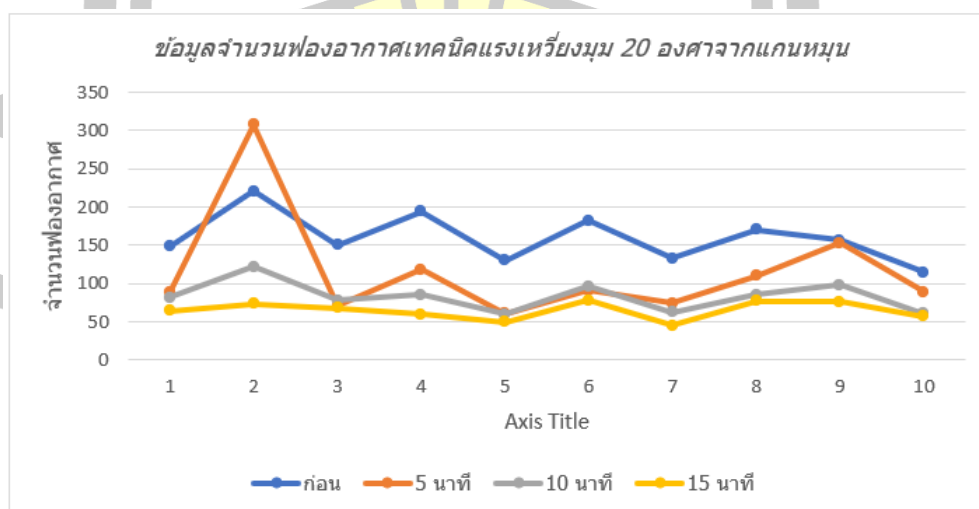


ภาพประกอบที่ 39 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 0 องศาจากแกนหมุน

4.1.4.2 มุม 20 องศาจากแกนหมุน โดยมีระยะเวลาในการทดสอบ 3 ช่วงระยะเวลา  
ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 20 องศาจากแกนหมุน

| ครั้งที่ | ก่อน                                                                                |               | 5 นาที                                                                              |               | 10 นาที                                                                             |               | 15 นาที                                                                               |               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|          | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                                | จำนวนฟองอากาศ |
| 1        |    | 148           |    | 88            |    | 82            |    | 64            |
| 2        |    | 221           |    | 308           |    | 122           |    | 73            |
| 3        |    | 150           |    | 71            |    | 78            |    | 68            |
| 4        |    | 194           |    | 118           |    | 85            |    | 60            |
| 5        |    | 130           |    | 61            |    | 60            |    | 50            |
| 6        |   | 182           |   | 91            |   | 96            |   | 78            |
| 7        |  | 133           |  | 74            |  | 62            |  | 45            |
| 8        |  | 170           |  | 110           |  | 85            |  | 77            |
| 9        |  | 157           |  | 153           |  | 98            |  | 76            |
| 10       |  | 115           |  | 89            |  | 61            |  | 57            |



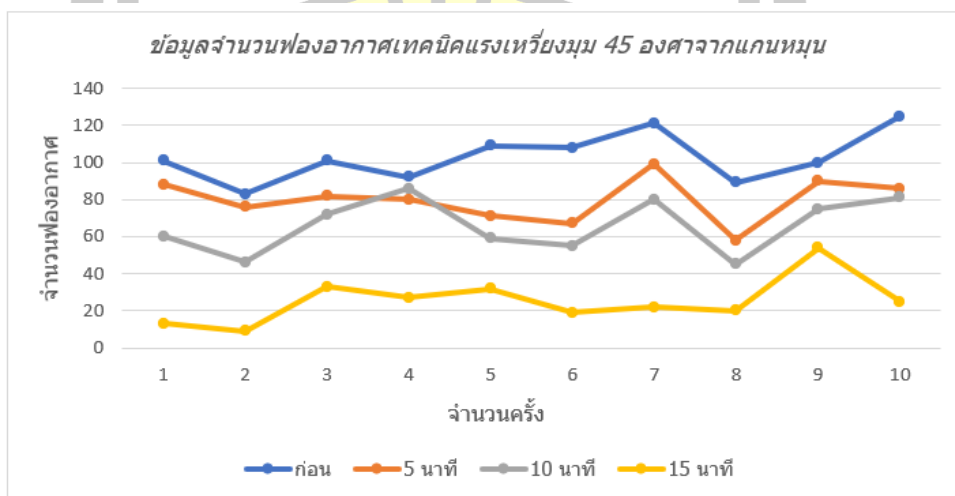
ภาพประกอบที่ 40 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 20 องศาจากแกนหมุน



4.1.4.3 มุม 45 องศาจากแกนหมุน โดยมีระยะเวลาในการทดสอบ 3 ช่วงระยะเวลา ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 45 องศาจากแกนหมุน

| ครั้งที่ | ก่อน                                                                                |               | 5 นาที                                                                              |               | 10 นาที                                                                             |               | 15 นาที                                                                               |               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|          | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                                | จำนวนฟองอากาศ |
| 1        |    | 101           |    | 88            |    | 60            |    | 13            |
| 2        |    | 83            |    | 76            |    | 46            |    | 9             |
| 3        |    | 101           |    | 82            |    | 72            |    | 33            |
| 4        |    | 92            |    | 80            |    | 86            |    | 27            |
| 5        |    | 109           |    | 71            |    | 59            |    | 32            |
| 6        |   | 108           |   | 67            |   | 55            |   | 19            |
| 7        |  | 121           |  | 99            |  | 80            |  | 22            |
| 8        |  | 89            |  | 58            |  | 45            |  | 20            |
| 9        |  | 100           |  | 90            |  | 75            |  | 54            |
| 10       |  | 125           |  | 86            |  | 81            |  | 25            |

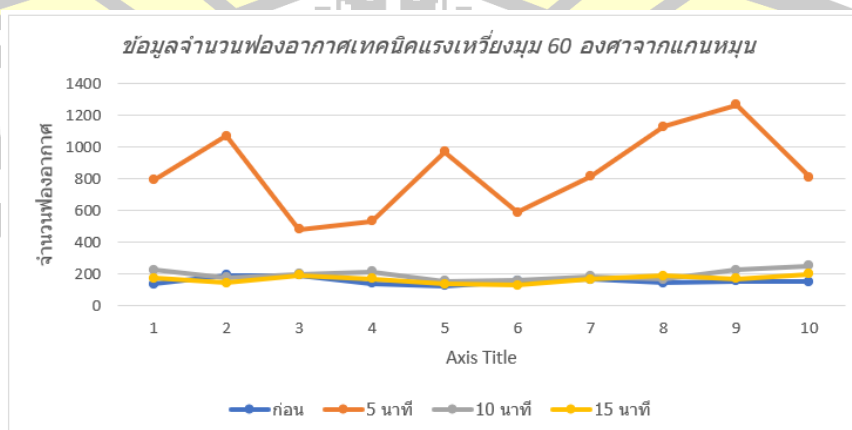


ภาพประกอบที่ 41 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 45 องศาจากแกนหมุน

4.1.4.4 มุม 60 องศาจากแกนหมุน โดยมีระยะเวลาในการทดสอบ 3 ช่วงระยะเวลา ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 60 องศาจากแกนหมุน

| ครั้งที่ | ก่อน                                                                                |               | 5 นาที                                                                              |               | 10 นาที                                                                             |               | 15 นาที                                                                               |               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|          | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                                | จำนวนฟองอากาศ |
| 1        |    | 139           |    | 793           |    | 226           |    | 176           |
| 2        |    | 195           |    | 1069          |    | 180           |    | 147           |
| 3        |    | 193           |    | 483           |    | 201           |    | 195           |
| 4        |    | 143           |    | 534           |    | 215           |    | 172           |
| 5        |   | 126           |   | 972           |   | 157           |   | 139           |
| 6        |  | 156           |  | 588           |  | 159           |  | 131           |
| 7        |  | 166           |  | 815           |  | 185           |  | 168           |
| 8        |  | 144           |  | 1130          |  | 166           |  | 188           |
| 9        |  | 158           |  | 1266          |  | 226           |  | 172           |
| 10       |  | 152           |  | 813           |  | 252           |  | 199           |

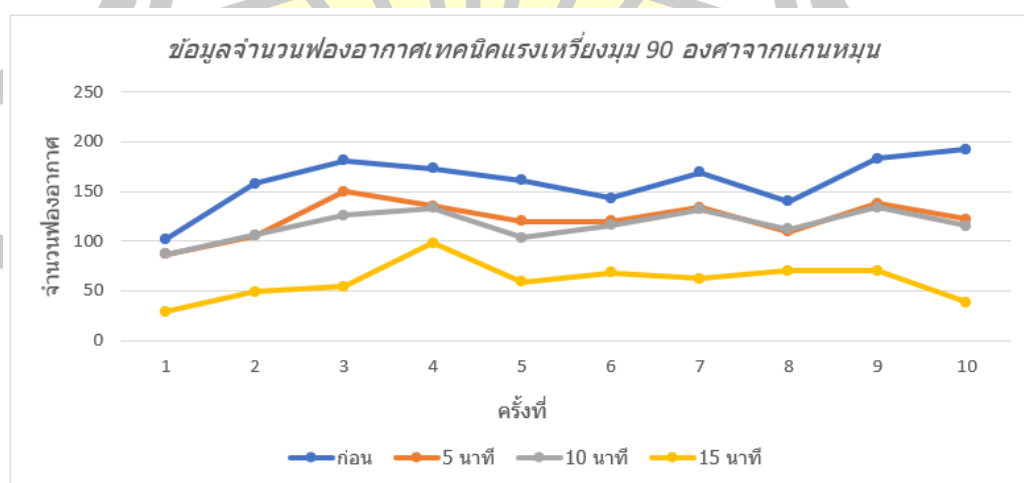


ภาพประกอบที่ 42 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 60 องศาจากแกนหมุน

4.1.4.5 มุม 90 องศาจากแกนหมุน โดยมีระยะเวลาในการทดสอบ 3 ช่วงระยะเวลา ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 90 องศาจากแกนหมุน

| ครั้งที่ | ก่อน                                                                                |               | 5 นาที                                                                              |               | 10 นาที                                                                             |               | 15 นาที                                                                               |               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|          | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                              | จำนวนฟองอากาศ | รูปภาพ                                                                                | จำนวนฟองอากาศ |
| 1        |    | 102           |    | 87            |    | 87            |    | 29            |
| 2        |    | 158           |    | 105           |    | 106           |    | 49            |
| 3        |    | 181           |    | 150           |    | 126           |    | 54            |
| 4        |    | 173           |    | 135           |    | 133           |    | 98            |
| 5        |    | 161           |    | 120           |    | 103           |    | 59            |
| 6        |  | 143           |  | 120           |  | 116           |  | 68            |
| 7        |  | 169           |  | 134           |  | 132           |  | 62            |
| 8        |  | 140           |  | 109           |  | 112           |  | 70            |
| 9        |  | 183           |  | 138           |  | 134           |  | 70            |
| 10       |  | 192           |  | 122           |  | 115           |  | 38            |



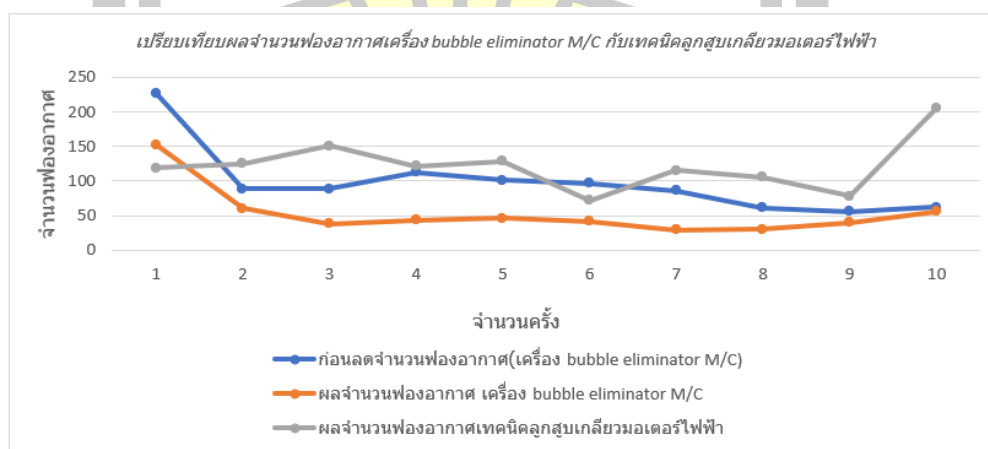
ภาพประกอบที่ 43 ข้อมูลจำนวนฟองอากาศเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 90 องศาจากแกนหมุน

## 4.2 ผลการเปรียบเทียบการลดจำนวนฟองอากาศในเนื้อผลิตภัณฑ์กาวชนิด A แต่ละเทคนิค

4.2.1 ผลการเปรียบเทียบเทคนิคลดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ทำการทดสอบ เครื่อง bubble eliminator M/C ก่อนและหลัง ซึ่งเป็นค่าจำนวนฟองอากาศมาตรฐาน เปรียบเทียบกับเทคนิคลูกสูบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคลูกสูบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า

| ครั้งที่ | ก่อนลดจำนวนฟองอากาศ<br>เครื่อง bubble<br>eliminator M/C | ผลจำนวนฟองอากาศ เครื่อง<br>bubble eliminator M/C | ผลจำนวนฟองอากาศ<br>เทคนิคลูกสูบเกลียว<br>มอเตอร์ไฟฟ้า |
|----------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1        | 227                                                     | 153                                              | 119                                                   |
| 2        | 89                                                      | 60                                               | 125                                                   |
| 3        | 89                                                      | 38                                               | 151                                                   |
| 4        | 113                                                     | 44                                               | 122                                                   |
| 5        | 101                                                     | 46                                               | 129                                                   |
| 6        | 97                                                      | 42                                               | 72                                                    |
| 7        | 86                                                      | 29                                               | 115                                                   |
| 8        | 61                                                      | 30                                               | 106                                                   |
| 9        | 56                                                      | 40                                               | 78                                                    |
| 10       | 62                                                      | 56                                               | 205                                                   |

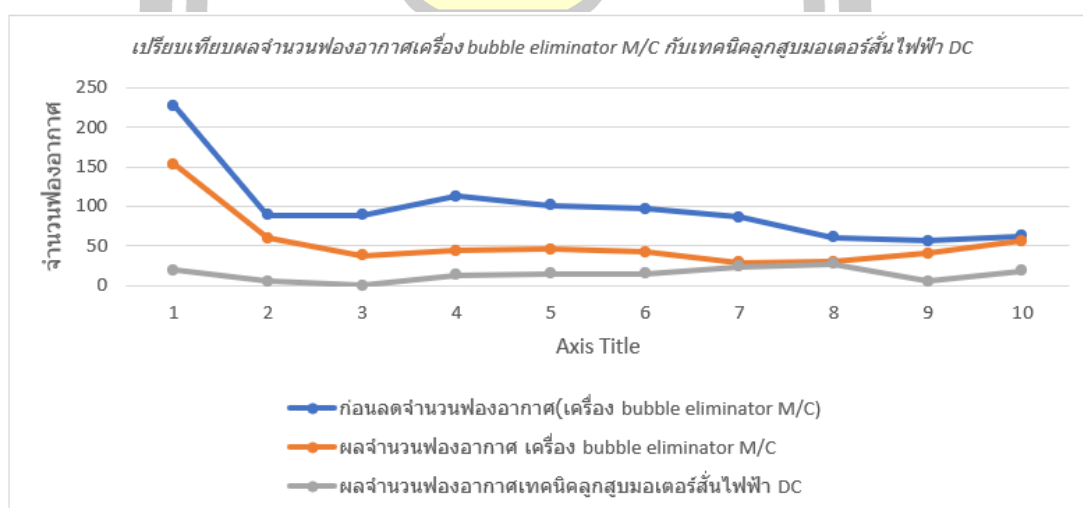


ภาพประกอบที่ 44 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคลูกสูบเกลียวมอเตอร์ไฟฟ้า

4.2.2 ผลการเปรียบเทียบเทคนิคลดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ทำการทดสอบ เครื่อง bubble eliminator M/C ก่อนและหลัง ซึ่งเป็นค่าจำนวนฟองอากาศมาตรฐานเปรียบเทียบกับเทคนิคลูกสูบลมมอเตอร์สั่นไฟฟ้า DC ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคลูกสูบลมมอเตอร์สั่นไฟฟ้า DC

| ครั้งที่ | ก่อนลดจำนวนฟองอากาศ<br>เครื่อง bubble eliminator<br>M/C | ผลจำนวนฟองอากาศ เครื่อง<br>bubble eliminator M/C | ผลจำนวนฟองอากาศเทคนิค<br>ลูกสูบลมมอเตอร์สั่นไฟฟ้า DC |
|----------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1        | 227                                                     | 153                                              | 19                                                   |
| 2        | 89                                                      | 60                                               | 5                                                    |
| 3        | 89                                                      | 38                                               | 0                                                    |
| 4        | 113                                                     | 44                                               | 13                                                   |
| 5        | 101                                                     | 46                                               | 15                                                   |
| 6        | 97                                                      | 42                                               | 15                                                   |
| 7        | 86                                                      | 29                                               | 24                                                   |
| 8        | 61                                                      | 30                                               | 27                                                   |
| 9        | 56                                                      | 40                                               | 5                                                    |
| 10       | 62                                                      | 56                                               | 18                                                   |



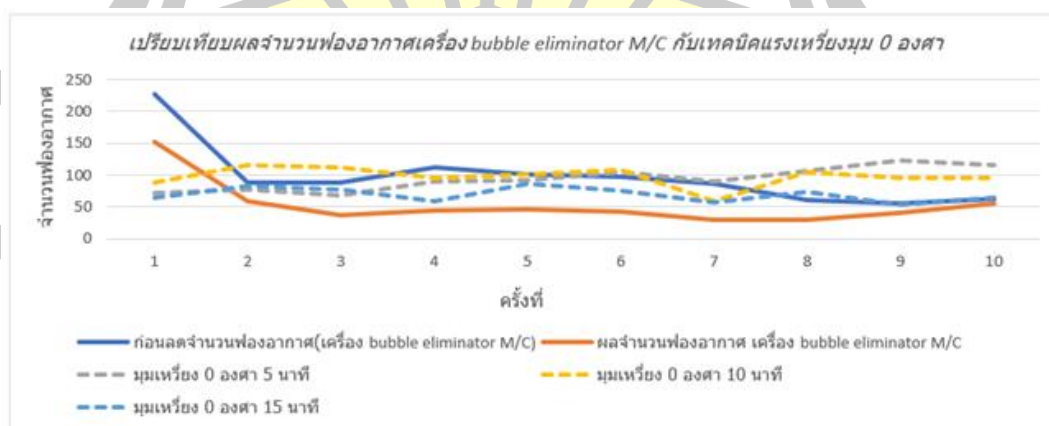
ภาพประกอบที่ 45 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคลูกสูบลมมอเตอร์ไฟฟ้า DC

4.2.3 ผลการเปรียบเทียบเทคนิคลดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ทำการทดสอบ เครื่อง bubble eliminator M/C ก่อนและหลัง ซึ่งเป็นค่าจำนวนฟองอากาศมาตรฐานเปรียบเทียบกับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 0 องศา ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า DC ดังนี้

#### 4.2.3.1 เทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 0 องศา ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 0 องศา

| ครั้งที่ | ก่อนลดจำนวนฟองอากาศ(เครื่อง bubble eliminator M/C) | ผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C | มุมเหวี่ยง 0 องศา 5 นาที | มุมเหวี่ยง 0 องศา 10 นาที | มุมเหวี่ยง 0 องศา 15 นาที |
|----------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1        | 227                                                | 153                                          | 71                       | 88                        | 65                        |
| 2        | 89                                                 | 60                                           | 78                       | 115                       | 83                        |
| 3        | 89                                                 | 38                                           | 69                       | 112                       | 77                        |
| 4        | 113                                                | 44                                           | 90                       | 95                        | 59                        |
| 5        | 101                                                | 46                                           | 92                       | 102                       | 87                        |
| 6        | 97                                                 | 42                                           | 104                      | 108                       | 76                        |
| 7        | 86                                                 | 29                                           | 91                       | 59                        | 58                        |
| 8        | 61                                                 | 30                                           | 107                      | 104                       | 74                        |
| 9        | 56                                                 | 40                                           | 123                      | 96                        | 54                        |
| 10       | 62                                                 | 56                                           | 115                      | 96                        | 65                        |

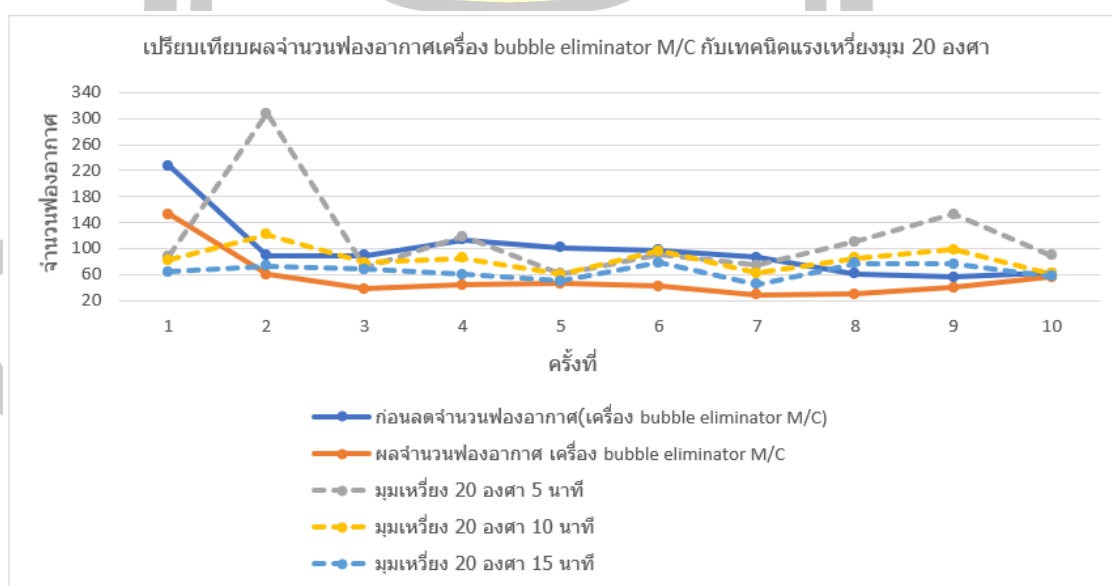


ภาพประกอบที่ 46 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 0 องศา

#### 4.2.3.2 เทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 20 องศา ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 20 องศา

| ครั้งที่ | ก่อนลดจำนวนฟองอากาศ(เครื่อง bubble eliminator M/C) | ผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C | มุมเหวี่ยง 20 องศา 5 นาที | มุมเหวี่ยง 20 องศา 10 นาที | มุมเหวี่ยง 20 องศา 15 นาที |
|----------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1        | 227                                                | 153                                          | 88                        | 82                         | 64                         |
| 2        | 89                                                 | 60                                           | 308                       | 122                        | 73                         |
| 3        | 89                                                 | 38                                           | 71                        | 78                         | 68                         |
| 4        | 113                                                | 44                                           | 118                       | 85                         | 60                         |
| 5        | 101                                                | 46                                           | 61                        | 60                         | 50                         |
| 6        | 97                                                 | 42                                           | 91                        | 96                         | 78                         |
| 7        | 86                                                 | 29                                           | 74                        | 62                         | 45                         |
| 8        | 61                                                 | 30                                           | 110                       | 85                         | 77                         |
| 9        | 56                                                 | 40                                           | 153                       | 98                         | 76                         |
| 10       | 62                                                 | 56                                           | 89                        | 61                         | 57                         |

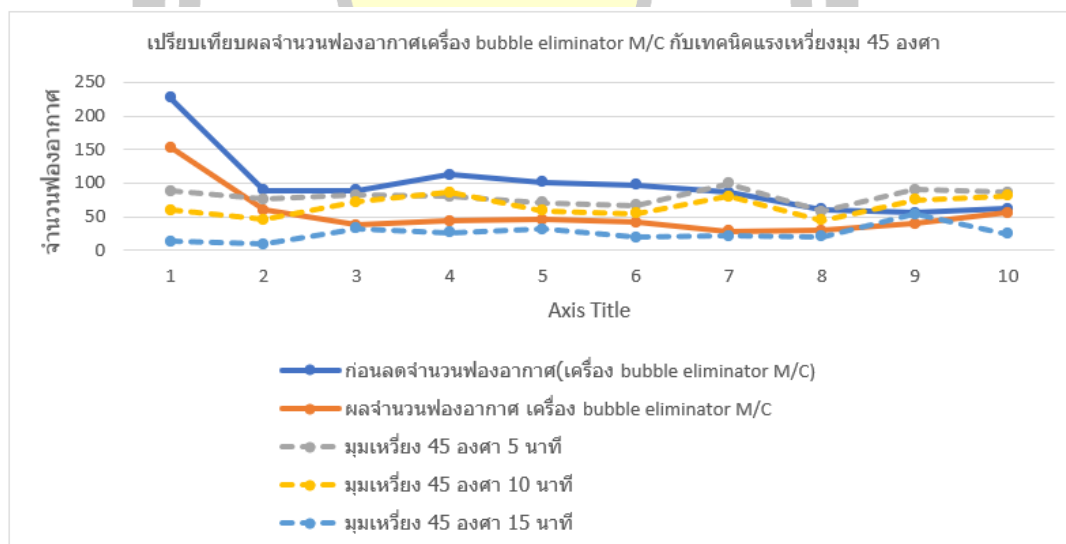


ภาพประกอบที่ 47 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 20 องศา

#### 4.2.3.3 เทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 45 องศา ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 45 องศา

| ครั้งที่ | ก่อนลดจำนวนฟองอากาศ(เครื่อง bubble eliminator M/C) | ผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C | มุมเหวี่ยง 45 องศา 5 นาที | มุมเหวี่ยง 45 องศา 10 นาที | มุมเหวี่ยง 45 องศา 15 นาที |
|----------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1        | 227                                                | 153                                          | 88                        | 60                         | 13                         |
| 2        | 89                                                 | 60                                           | 76                        | 46                         | 9                          |
| 3        | 89                                                 | 38                                           | 82                        | 72                         | 33                         |
| 4        | 113                                                | 44                                           | 80                        | 86                         | 27                         |
| 5        | 101                                                | 46                                           | 71                        | 59                         | 32                         |
| 6        | 97                                                 | 42                                           | 67                        | 55                         | 19                         |
| 7        | 86                                                 | 29                                           | 99                        | 80                         | 22                         |
| 8        | 61                                                 | 30                                           | 58                        | 45                         | 20                         |
| 9        | 56                                                 | 40                                           | 90                        | 75                         | 54                         |
| 10       | 62                                                 | 56                                           | 86                        | 81                         | 25                         |



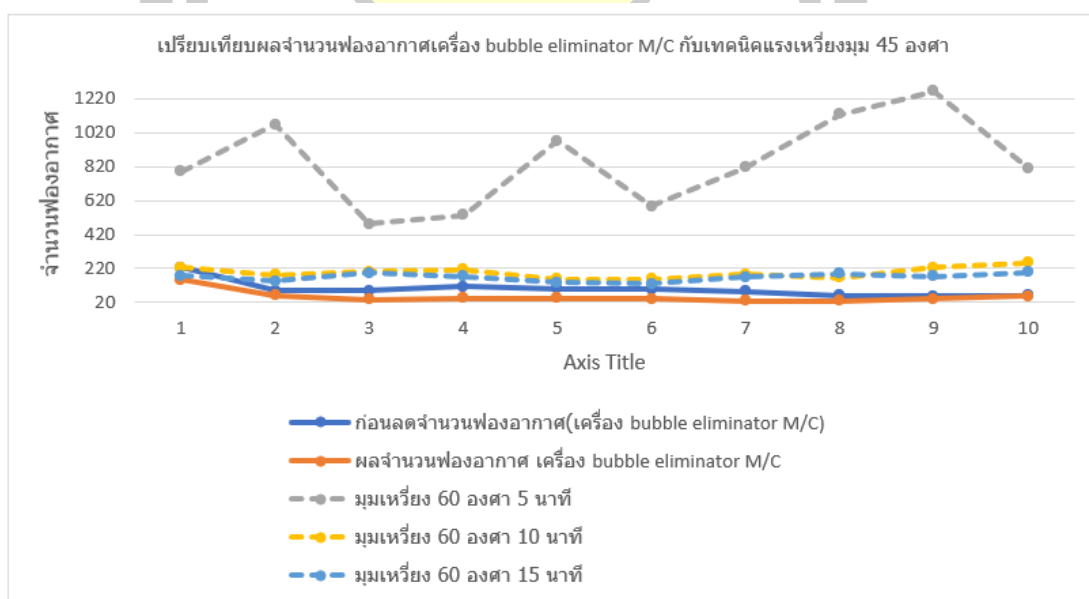
ภาพประกอบที่ 48 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 45 องศา



#### 4.2.3.4 เทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 60 องศา ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 60 องศา

| ครั้งที่ | ก่อนลดจำนวนฟองอากาศ(เครื่อง bubble eliminator M/C) | ผลจำนวนฟองอากาศ เครื่อง bubble eliminator M/C | มุมเหวี่ยง 60 องศา 5 นาที | มุมเหวี่ยง 60 องศา 10 นาที | มุมเหวี่ยง 60 องศา 15 นาที |
|----------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1        | 227                                                | 153                                           | 793                       | 226                        | 176                        |
| 2        | 89                                                 | 60                                            | 1069                      | 180                        | 147                        |
| 3        | 89                                                 | 38                                            | 483                       | 201                        | 195                        |
| 4        | 113                                                | 44                                            | 534                       | 215                        | 172                        |
| 5        | 101                                                | 46                                            | 972                       | 157                        | 139                        |
| 6        | 97                                                 | 42                                            | 588                       | 159                        | 131                        |
| 7        | 86                                                 | 29                                            | 815                       | 185                        | 168                        |
| 8        | 61                                                 | 30                                            | 1130                      | 166                        | 188                        |
| 9        | 56                                                 | 40                                            | 1266                      | 226                        | 172                        |
| 10       | 62                                                 | 56                                            | 813                       | 252                        | 199                        |

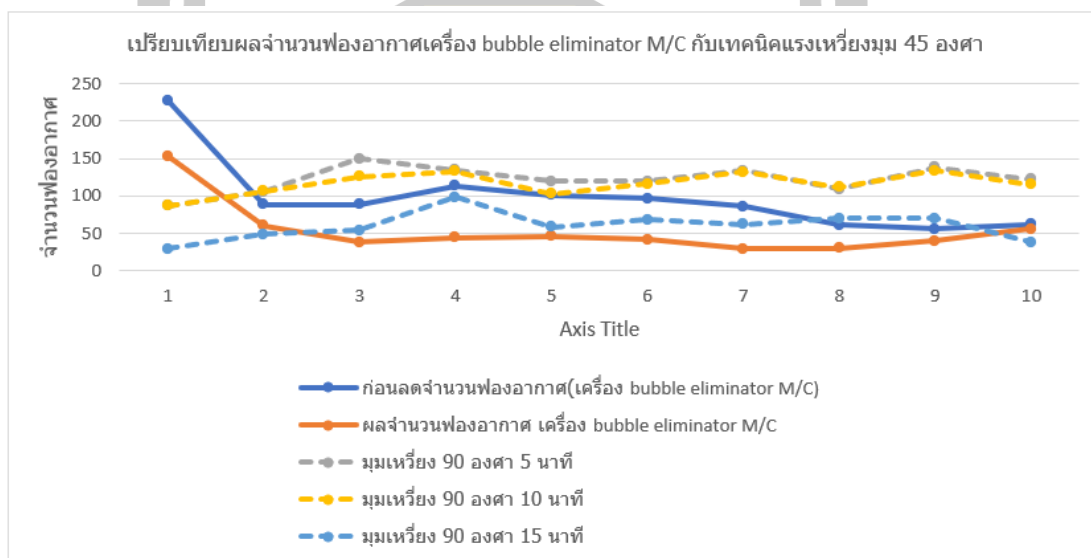


ภาพประกอบที่ 49 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 60 องศา

#### 4.2.3.4 เทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 90 องศา ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 90 องศา

| ครั้งที่ | ก่อนลดจำนวนฟองอากาศ(เครื่อง bubble eliminator M/C) | ผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C | มุมเหวี่ยง 90 องศา 5 นาที | มุมเหวี่ยง 90 องศา 10 นาที | มุมเหวี่ยง 90 องศา 15 นาที |
|----------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1        | 227                                                | 153                                          | 87                        | 87                         | 29                         |
| 2        | 89                                                 | 60                                           | 105                       | 106                        | 49                         |
| 3        | 89                                                 | 38                                           | 150                       | 126                        | 54                         |
| 4        | 113                                                | 44                                           | 135                       | 133                        | 98                         |
| 5        | 101                                                | 46                                           | 120                       | 103                        | 59                         |
| 6        | 97                                                 | 42                                           | 120                       | 116                        | 68                         |
| 7        | 86                                                 | 29                                           | 134                       | 132                        | 62                         |
| 8        | 61                                                 | 30                                           | 109                       | 112                        | 70                         |
| 9        | 56                                                 | 40                                           | 138                       | 134                        | 70                         |
| 10       | 62                                                 | 56                                           | 122                       | 115                        | 38                         |



ภาพประกอบที่ 50 เปรียบเทียบผลจำนวนฟองอากาศเครื่อง bubble eliminator M/C กับเทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 90 องศา

## บทที่ 5

### สรุปและอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากการผลการดำเนินงานวิจัยในบทที่ 4 ซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลเทคนิคลดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ในแต่ละเทคนิค และทำการเปรียบเทียบจำนวนฟองอากาศในแต่ละเทคนิค ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปและอภิปรายผล

5.1.1 การดำเนินวิจัยการลดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ทั้งหมด 4 เทคนิค ซึ่งเทคนิคที่ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือ เทคนิคลูกสูบมอเตอร์สั่นไฟฟ้า DC การลดจำนวนฟองอากาศในเนื้อกาวด้วยเทคนิคที่ 3 เทคนิคลูกสูบมอเตอร์สั่นไฟฟ้า DC โดยวิธีนี้ใช้มอเตอร์สะเทือน DC 5V ทำงานด้วยความเร็ว  $15500 \pm 15\%$  รอบต่อนาที ทำงานควบคู่กับเครื่องเติมกาวอัตโนมัติ โดยการทำงานของลูกสูบจะทำงานไปพร้อมกับปริมาณผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ที่ถูกเติมเข้าสู่หลอดกาว จึงสามารถช่วยลดฟองอากาศภายในหลอดผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ได้ดีที่สุด ซึ่งจำนวนของฟองอากาศภายในหลอดผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A น้อยกว่าจำนวนฟองอากาศมาตรฐาน

#### 5.2 อภิปรายผล

5.2.1 จากการศึกษาการวิจัยพบว่า เทคนิคการลดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A โดยการใช้ เทคนิคลูกสูบมอเตอร์สั่นไฟฟ้า DC ให้ผลลัพธ์การลดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ที่ดีขึ้น

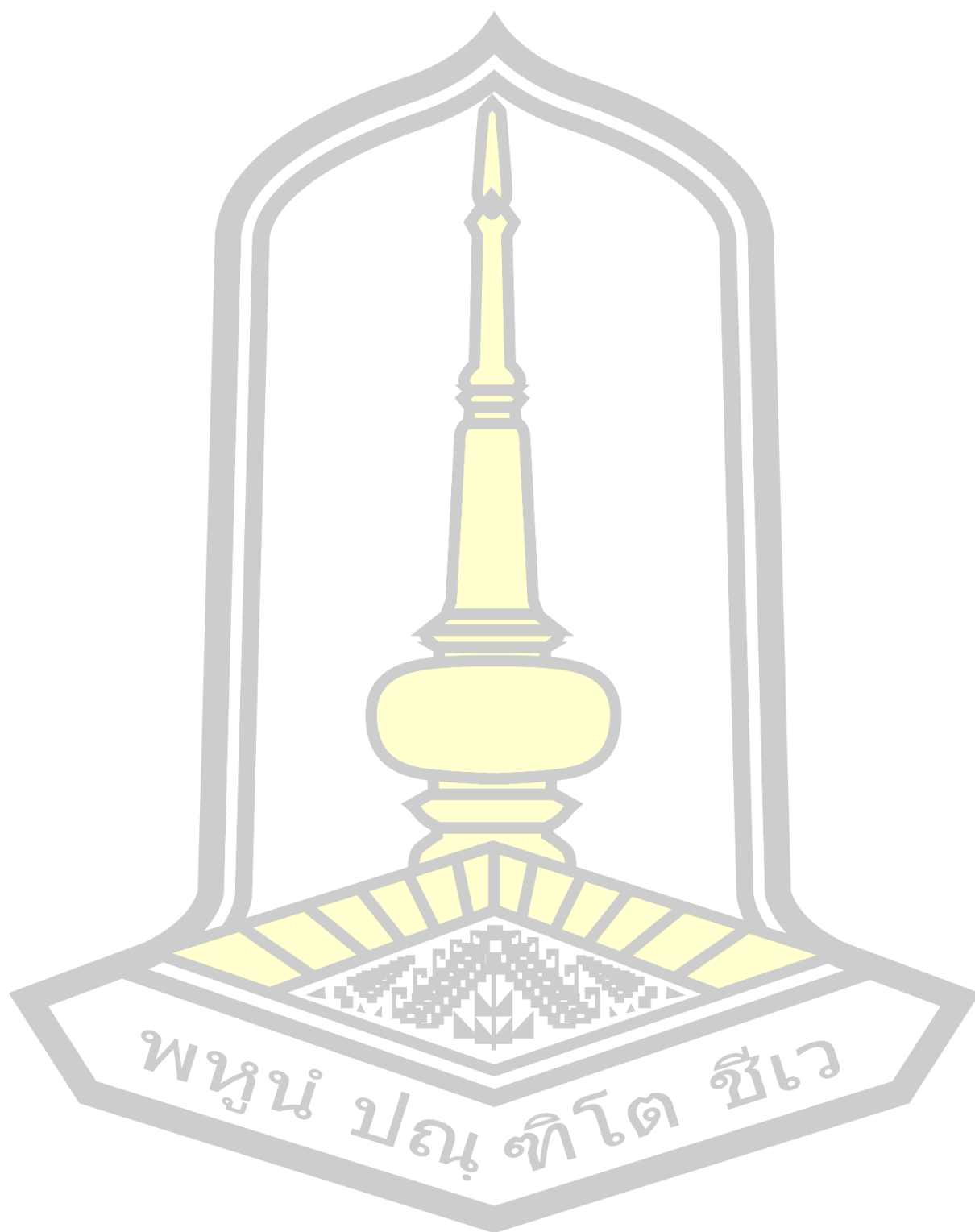
#### 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เทคนิคแรงเหวี่ยงมุม 45 องศา หากเพิ่มความเร็วของรอบแรงเหวี่ยงให้มากขึ้นจะสามารถช่วยให้จำนวนฟองอากาศภายในหลอดผลิตภัณฑ์กาวตัวอย่างชนิด A ลดลงหรือต่ำกว่าค่าจำนวนฟองอากาศมาตรฐาน

## บรรณานุกรม

1. Lauterborn, W., *Numerical investigation of nonlinear oscillations of gas bubbles in liquids*. The Journal of the Acoustical Society of America, 1976. 59(2): p. 283-293.
2. Hong, J.M. and C.H. Kim. *Animation of bubbles in liquid*. in *Computer Graphics Forum*. 2003. Wiley Online Library.
3. Smirnov, B.M. and R.S. Berry, *Growth of bubbles in liquid*. Chemistry Central Journal, 2015. 9: p. 1-8.
4. Chanwiang, W., et al., การ ลด ปัญหา ฟอง อากาศ และ การ ปรับ เรียบ การ ผลิต กรณี ศึกษา บริษัท ผลิต ฮาร์ดดิสก์ ไต ร พี. Industry Technology Lampang Rajabhat University, 2021. 14(2): p. 12-24.
5. Yedamale, P., *Brushless DC (BLDC) motor fundamentals*. Microchip Technology Inc, 2003. 20(1): p. 3-15.
6. อินสุวรรณ์, ป. and เ. ภิรมย์วงศ์, วงจร ควบคุม ความเร็ว รอบ คง ที่ ของ มอเตอร์ กระแสตรง. มหาวิทยาลัย นครสวรรค์.
7. อง, ย.พ.ช.พ.ส.น. and ช.ว.ป. รี้, วงจร ควบคุม มอเตอร์ ไฟฟ้า กระแสตรง แบบ ไร้ แปรปร่ง ถ่าน. มหาวิทยาลัย นครสวรรค์.
8. มุข, ม.เ., การ พัฒนา ชุด ทดลอง หา ค่า ความ หนืด จาก การ วัด อัตรา การ ไหล ของ ของเหลว.
9. Lahamornchaiyakul, W., การ ออกแบบ และ พัฒนา ใบพัด กวน ผสม สำหรับ ของไหล ที่ มี ความ หนืด ด้วย องค์ ความ รู้ จาก สิทธิบัตร การ ออกแบบ ผลิตภัณฑ์ โดยใช้ เทคนิค การ วิเคราะห์ ผล ทาง พลศาสตร์ ของไหล. Engineering and Technology Horizons, 2022. 39(4): p. 149-165.

พหุบัณฑิต



## ประวัติผู้เขียน

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ                 | ตะวัน ศรีสุวรรณ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| วันเกิด              | 17 เมษายน 2542                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| สถานที่เกิด          | จังหวัดมหาสารคาม                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| สถานที่อยู่ปัจจุบัน  | 34/3 ต.แก้ง อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| ตำแหน่งหน้าที่การงาน | นักศึกษา                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| ประวัติการศึกษา      | พ.ศ. 2559 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์<br>วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม<br>พ.ศ. 2562 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์<br>วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม<br>พ.ศ. 2565 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม<br>พ.ศ. 2567 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า<br>และคอมพิวเตอร์คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| ทุนวิจัย             | โครงการการบูรณาการการเรียนรู้กับการทำงาน (Work-integrated Learning : WiL)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| ผลงานวิจัย           | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

พูน ปณ ทัต ชีเว