



ปีการศึกษา ๒๕๖๖

การออกแบบและสร้างเครื่องผสม

สำหรับศึกษาการกวนผสมของไหล



ปฏิญานินนธ์ปีการศึกษา 2533

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องผสม สำหรับศึกษาการผสมของไหล

ผู้จัดทำ

1. นาย ดำรงค์ กุลวาทัญญู 300402
2. นาย ฤทธิธ ศิริสิทธิพิทักษ์ 300410

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(นาย ธงสุทธ พิชกมทุร)

๒๔๖  
๑๖๗  
๒๕๓๓

|                |             |
|----------------|-------------|
| เลขหมู่        | T 33080 a b |
| เลขทะเบียน     | 0๒๖๑๑๓      |
| วัน, เดือน, ปี | ๗ ๕๓ ๖๔     |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดำรงค์ กุลวาทัญญ

ฤทธิธณ ศิริสิทธิ์พิทักษ์

ยงยุทธ พิชกมฺพร อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2533

### บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการออกแบบถังผสมและใบกวน ( Mixing Tank & Agitators ) เป็นชุดทดลองเบื้องต้น เพื่อนำไปใช้ศึกษาการผสมของระบบของเหลวของเหลว หรือของแข็งของเหลว ( Liquid-Liquid or Solid-Liquid System ) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ใช้ขับใบกวน ความเร็วรอบของใบกวน เส้นผ่านศูนย์กลางใบกวน รูปแบบของการไหลที่เกิดขึ้นความหนาแน่น และความหนืดของของเหลวที่ต้องการกวน ระบบถังผสมที่จัดทำขึ้นนี้ จะประกอบไปด้วยถังพลาสติกทรงกระบอกกลม มอเตอร์ปรับความเร็วรอบ ชุดวัดความเร็วรอบ เครื่องวัดแรงบิด ชุดของบัฟเฟิล ( Baffle ) และชุดของใบกวนแบบ 8 แบบ ซึ่งประโยชน์ของการศึกษาดังกล่าวก็คือ ใช้ทำนายผลของการกวนผสม การเลือกใช้ระบบถังผสมที่ถูกต้องเหมาะสม ตลอดจนการนำใบประยุกต์ใช้ขยายขนาด ( Scale up ) ถ้าการออกแบบถังผสมขนาดใหญ่ที่จะใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไปอีกด้วย

## Design and Fabrication of a Laboratory

Dumrong Kulvatunyou

Rittiron Sirisitpituk

Yongyuth Puechkamutr, Advisor

Academic year 1990

### Abstract

This thesis is design & fabrication of mixing tank & agitators developed from the principle standard mixer tank. The objectives are to study liquid liquid or solid liquid mixing system using various impellers to analyse the relation among power consumption, the rotational speed of agitator, diameter of impeller, flow patterns, density and viscosity of mixing liquid of the systems. The mixing system consists of a clear acrylic cylindrical mixing vessel, 5.44 litres capacity, a variable speed motor, tachometer, dynamometer set of baffles and various types of impellers. These are useful to predict the affect of mixing, choose the suitable of mixing system and also apply to the design of large scale mixers in the industry.

(ก)

สารบัญ

|                                   | หน้า |
|-----------------------------------|------|
| สารบัญ                            | (ก)  |
| สารบัญรูปภาพ                      | (ข)  |
| สารบัญตาราง                       | (ค)  |
| บทที่ 1 บทนำ                      | 1    |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี           | 4    |
| บทที่ 3 การคำนวณออกแบบและการสร้าง | 41   |
| บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง     | 44   |
| บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป          | 56   |
| ภาคผนวก                           | 59   |
| กิตติกรรมประกาศ                   | 94   |
| เอกสารอ้างอิง                     | 95   |

## สารบัญภาพ

| รูปที่ |                                                        | หน้า |
|--------|--------------------------------------------------------|------|
| 2-1    | เครื่องกวเหาะสำหรับของ เหลวความหนืดต่ำ                 | 4    |
| 2-2    | เครื่องกวสำหรับผลิตกัมต์ความหนืดปานกลางและสูง          | 5    |
| 2-3    | เครื่องกวของไหลความหนืดสูงมาก                          | 6    |
| 2-4    | รูปแบบการไหลของผลิตภัณฑ์ในถังกวนด้วยใบพัดแบบต่างๆ      | 8    |
| 2-5    | ถังกวนแบบทั่วไป                                        | 9    |
| 2-6    | แบบของใบพัด                                            | 10   |
| 2-7    | ใบกวนแบบกังหัน                                         | 12   |
| 2-8    | การติดใบกวนแนว เบียง จากศูนย์กลาง                      | 14   |
| 2-9    | การติดใบกวนด้านข้างของถังกวน                           | 15   |
| 2-10   | รูปแบบการไหลของผลิตภัณฑ์ในถังที่ติดแผ่นกั้น            | 16   |
| 2-11   | รูปแบบการหมุนวนและ เกิดหลุมน้ำวนในถังกวน               | 17   |
| 2-12   | การเพิ่มชุดของกังหัน ในถังกวนขนาดสูง                   | 18   |
| 2-13   | การควบคุมการไหลโดยติด Draft tube ของกังหันและใบพัด     | 18   |
| 2-14   | ถังกวนกังหันมาตรฐาน                                    | 19   |
| 2-15   | กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ เลข เรย์โนลด์ และ เลข กาลัง    | 22   |
| 2-16   | กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ เลข เรย์โนลด์ และ เลข กาลัง    | 26   |
| 2-17   | ส่วนประกอบของถังมาตรฐานที่มีกั้น เรียบพร้อมครีบกวน     | 27   |
| 2-18   | รูปแบบการไหลในถังแบบกั้น เรียบมีแผ่นครีบกวน            | 29   |
| 2-19   | ขนาดส่วนประกอบต่างๆของถังผสมแบบกั้นรูปครึ่งวงกลม 2 จง  | 30   |
| 2-20   | ขนาดส่วนประกอบต่างๆของถังผสมแบบกั้นกึ่ง เป็นรูปกรวยก้น | 30   |

| รูปที่ |                                                                                                                                                                           | หน้า |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2-21   | แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้กับระยะห่างของใบพัดจากกันถึง<br>โดยมีสารผสมเป็นทรายซิลิกาขนาด 0.116 มิลลิเมตรความสามารถ<br>ในการรวมตัว 6.1% โดยปริมาตร ในน้ำอุณหภูมิ 25 C | 31   |
| 2-22   | แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้กับระยะห่างของใบพัดจากกันถึง<br>โดยมีสารผสมเป็นทรายซิลิกาขนาด 0.290 มิลลิเมตรความสามารถ<br>ในการรวมตัว 6.1% โดยปริมาตร ในน้ำอุณหภูมิ 25 C | 31   |
| 2-23   | ถังที่พัฒนาจากถังแบบอื่นๆ และขนาดของใบพัดที่สัมพันธ์กัน                                                                                                                   | 33   |
| 2-24   | ไดนาโมมิเตอร์แบบ bench scale                                                                                                                                              | 36   |
| 2-25   | ไดนาโมมิเตอร์แบบ pilot scale                                                                                                                                              | 38   |
| 2-26   | แสดงอุปกรณ์การวัดแรงบิด                                                                                                                                                   | 40   |
| 3-1    | แสดงชุดของเฟืองทด                                                                                                                                                         | 43   |

| รูปที่                                                            | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| 4-1. แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบมี baffle ที่ 670 rpm         | 48   |
| 4-2. แสดงการหมุนของ Curved Disk turbine แบบมี baffle ที่ 740 rpm  | 48   |
| 4-3. แสดงการหมุนของ Vane Disk turbine แบบไม่มี baffle ที่ 758 rpm | 49   |
| 4-4. แสดงการหมุนของ Vane Disk turbine แบบมี baffle ที่ 760 rpm    | 49   |
| 4-5. แสดงการหมุนของ Fan turbine แบบไม่มี baffle                   | 50   |
| 4-6. แสดงการหมุนของ Fan turbine แบบมี baffle ที่ 693 rpm          | 50   |
| 4-7. แสดงการหมุนของ Curved fan turbine แบบไม่มี baffle ที่ 734rpm | 51   |
| 4-8. แสดงการหมุนของ Curved fan turbine แบบมี baffle               | 51   |
| 4-9. แสดงการหมุนของ Modified turbine แบบไม่มี baffle ที่ 685 rpm  | 52   |
| 4-10. แสดงการหมุนของ Modified turbine แบบมี baffle ที่ 682 rpm    | 52   |
| 4-11. แสดงการหมุนของ Marine type แบบไม่มี baffle ที่ 840 rpm      | 53   |
| 4-12. แสดงการหมุนของ Marine type แบบมี baffle                     | 53   |
| 4-13. แสดงแบบของใบกานที่ใช้ในการทดลอง                             | 54   |
| 4-14. แสดงแบบของใบกานที่ใช้ในการทดลอง                             | 54   |
| 4-15. แสดงกังวานที่ใช้ในการทดลอง                                  | 55   |

[น้ำมันพืช]

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 1. แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบไม่มี baffle                  | 60 |
| 2. แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบมี baffle                     | 60 |
| 3. แสดงการหมุนของ Curved Disk turbine แบบไม่มี baffle           | 61 |
| 4. แสดงการหมุนของ Curved Disk turbine แบบไม่มี baffle           | 61 |
| ที่ความเร็วรอบสูงสุด                                            |    |
| 5. แสดงการหมุนของ Curved Disk turbine แบบมี baffle              | 62 |
| ที่ 940 rpm                                                     |    |
| 6. แสดงการหมุนของ Vane Disk turbine แบบไม่มี baffle             | 62 |
| 7. แสดงการหมุนของ Vane Disk turbine แบบมี baffle                | 63 |
| 8. แสดงการหมุนของ Fan turbine แบบไม่มี baffle ที่ 840 rpm       | 63 |
| 9. แสดงการหมุนของ Curved fan turbine แบบไม่มี baffle            | 64 |
| ที่ 350 rpm                                                     |    |
| 10. แสดงการหมุนของ Curved fan turbine แบบไม่มี baffle           | 64 |
| ที่ 870 rpm                                                     |    |
| 11. แสดงการหมุนของ Curved fan turbine แบบมี baffle              | 65 |
| 12. แสดงการหมุนของ Pitch turbine แบบไม่มี baffle ที่ 700 rpm    | 65 |
| 13. แสดงการหมุนของ Pitch turbine แบบไม่มี baffle ที่ 950 rpm    | 66 |
| 14. แสดงการหมุนของ Pitch turbine แบบมี baffle ที่ 975 rpm       | 66 |
| 15. แสดงการหมุนของ Modified turbine แบบไม่มี baffle ที่ 990 rpm | 68 |
| 16. แสดงการหมุนของ Modified turbine แบบมี baffle ที่ 850 rpm    | 68 |
| 17. แสดงการหมุนของ Marine type แบบไม่มี baffle                  | 69 |
| 18. แสดงการหมุนของ Marine type แบบมี baffle                     | 69 |

## รูปผนวกที่

## หน้า

### [น้ำเชื่อม 32.4%]

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 19. แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบไม่มี baffle ที่ 250 rpm | 69 |
| 20. แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบไม่มี baffle             | 69 |
| 21. แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบมี baffle                | 70 |
| 22. แสดงการหมุนของ Marine type แบบไม่มี baffle              | 70 |
| 23. แสดงการหมุนของ Marine type แบบมี baffle                 | 71 |

### [น้ำเชื่อม 42.2%]

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 24. แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบไม่มี baffle ที่ 850 rpm | 71 |
| 25. แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบมี baffle ที่ 850 rpm    | 72 |
| 26. แสดงการหมุนของ Marine type แบบไม่มี baffle              | 72 |
| 27. แสดงการหมุนของ Marine type แบบมี baffle                 | 73 |

### [น้ำเชื่อม 52.2%]

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 28. แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบไม่มี baffle             | 73 |
| 29. แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบมี baffle (ถ่ายด้านข้าง) | 74 |
| 30. แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบมี baffle (ถ่ายด้านล่าง) | 74 |

## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมกระบวนการเคมีและอาหารต่างๆ พบว่ามีการใช้ถังผสมกันอย่างกว้างขวาง เพื่อทำให้มีการกวนและการผสมของของไหลตามที่ต้องการ โดยที่การกวน (Agitation) หมายถึง กระบวนการซึ่งทำให้แรงทางกลกระทำต่อของไหล ทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวนภายในภาชนะบรรจุ (Vessel) ส่วนการผสม (Mixing) หมายถึง กระบวนการซึ่งทำให้วัตถุอย่างน้อยสองสามสถานะกระจายแบบสุ่มและแทรกตัวเข้าหากัน

ในทางอุตสาหกรรมนั้น จุดมุ่งหมายของการกวนของไหลมีหลายประการ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการผลิต จุดประสงค์เหล่านั้นได้แก่

- 1) เพื่อช่วยเพิ่มความเร็วของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การตกผลึก ฯลฯ
- 2) เพื่อช่วยเพิ่มความเร็วของปฏิกิริยาเคมี
- 3) เพื่อช่วยในการผสมของของเหลว 2 ชนิด เช่น เอทิลแอลกอฮอล์และน้ำ
- 4) เพื่อช่วยการละลายของแข็งในของเหลว เช่น เกลือในน้ำ
- 5) เพื่อการกระจายก๊าซในของเหลวในรูปฟองอากาศเล็กๆ เช่น ออกซิเจนจากอากาศในการแขวนลอยของจุลินทรีย์สำหรับการหมักหรือกระบวนการ activated sludge ในการกำจัดของเสีย
- 6) เพื่อช่วยในการกระจายของเหลวซึ่งไม่สามารถผสมกันได้
- 7) เพื่อทำให้ได้ของเหลวที่มีความเข้มข้นสม่ำเสมอโดยทั่วถึง
- 8) เพื่อช่วยเพิ่มความเร็วของการถ่ายเทความร้อน ระหว่างของไหลกับขดลวด หรือผนังภาชนะ
- 9) เพื่อรักษาการกระจายแบบเนื้อเดียวกัน ในของไหลที่ไม่สามารถผสมกับของเหลวชนิดแรก ทำให้ได้เป็น emulsion หรือการแขวนลอยของเมล็ดของเหลวเล็กๆ

เครื่องกว่นจำนวนมากซึ่งใช้สำหรับจุดประสงค์หลายๆ อย่างในเวลาเดียวกัน การกว่นอาจทำงานแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องก็ได้ สำหรับการกว่นแบบต่อเนื่อง ของไหลจะมีการป้อนเข้าและปล่อยออกแบบต่อเนื่อง

เนื่องจากงานการกว่นแต่ละกระบวนการมีลักษณะจำเพาะไม่เหมือนกัน ดังนั้นอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการกว่นต้องออกแบบให้เหมาะสมกับงานนั้นๆ โดยพิจารณาจากองค์ประกอบต่อไปนี้

1. ปริมาตรหรือจำนวนของผลิตภัณฑ์ที่ถูกกว่น
2. ความหนืดและคุณสมบัติทาง Rheology ของผลิตภัณฑ์
3. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่น และชั้นการเจือปน

4. ผลที่ต้องการหลังการกว่นและการผสมรวมทั้งเวลาที่ใช้กว่น
5. ขนาดและรูปร่างของภาชนะซึ่งใช้ในการกว่น
6. ความเพียงพอของการกว่นโดยใช้กำลังน้อยที่สุด

การตัดสินใจออกแบบระบบการกว่นและผสม มีผลต่ออัตราการไหลวนของของไหล ลักษณะรูปแบบของความเร็ว และการใช้พลังงาน

ตัวอย่างการกว่นเพื่อกระจายอนุภาคเล็กๆ ซึ่งเกาะตัวกันต้องใช้แรงเจือปนเข้มข้นสูงกระทำต่อพื้นที่การไหลจำกัดนั้น แต่ในการผสมของตัวทำปฏิกิริยาในเตาทำปฏิกิริยาไม่ต้องการเช่นแบบแรก แม้ว่าความหนืดของการผสมเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นการออกแบบการกว่นต้องการกำลังสูงและแข็งแรง ทนทาน

ปกติการใช้งานการกว่นเกือบทั้งหมดต้องการการออกแบบซึ่งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการปฏิบัติการทางอุตสาหกรรม หรือการทดสอบระบบเฉพาะแบบที่ต้องการ

กรณีต้องการทำนายคุณสมบัติการปฏิบัติการ หรือลักษณะจำเพาะของอุปกรณ์การกว่นที่ต้องการ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (theory model) จะใช้ประโยชน์ได้มาก ลักษณะการปฏิบัติการของระบบเครื่องกว่นขนาดใหญ่ สามารถทำนายได้จากการทดสอบจากระบบเครื่องกว่นจำลอง การวิเคราะห์ผลการทดลองอาศัยหลักการ

ทางพลศาสตร์ของไหลเพื่อหาตัวแปรซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับขนาดเครื่องกวน ซึ่งตัวแปรนี้ใช้สำหรับขยายขนาดโดยวิธี empirical ส่วนมากแล้วการขยายขนาดของเครื่องกวนอาศัยหลักการที่อุปกรณ์เต็มขนาด ต้องให้ความเข้มข้นของพลังงานเท่ากับพลังงานที่ใช้ต่อปริมาตรของวัตถุซึ่งถูกกวนในหน่วยทดลอง (pilot unit) สำหรับการพิจารณาการกระจายดังกล่าวแล้วนั้นการขยายขนาดอุปกรณ์การกวนที่ดีต้องรักษาความเค้นเฉือนที่ปลายใบกวนให้คงที่

การขยายขนาดของการผสมในการปฏิบัติการ ซึ่งมีลักษณะไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วมากอาศัยแรงบิดต่อหน่วยปริมาตรคงที่นั้นใช้งานได้ดี การประยุกต์ใช้วิธีเหล่านี้สำหรับขยายขนาดเครื่องกวนใช้กำลังงานน้อยกว่าวิธีทั่วไป ซึ่งอาศัยหลักการกำลังต่อหน่วยปริมาตรเท่ากันในการขยายขนาด

ดังนั้น เพื่อเป็นการศึกษาถึงระบบถึงกวนผสมพื้นฐาน จึงได้จัดทำชุดถังผสมมาตรฐานขนาดเล็กขึ้น เป็นหน่วยทดลอง ใช้ในการทดลองในห้อง Lab และงานวิจัยพัฒนาที่สามารถนำไปดัดแปลงเลือกใช้ตามความเหมาะสมได้

วัตถุประสงค์ของการออกแบบและสร้างเครื่องผสม

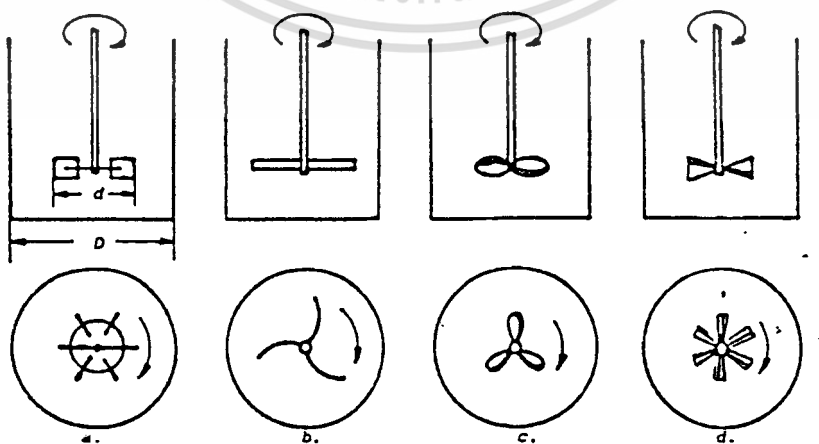
1. เพื่อศึกษาถึงวิธีการออกแบบระบบถึงผสม
2. เพื่อนำเอาความรู้ทางด้านการออกแบบเครื่องจักรกล มาใช้ในการออกแบบตัวถังกำลังของถึงผสม
3. เพื่อศึกษาถึงรูปแบบของใบกวนที่เหมาะสมในการใช้งานกับของไหลที่ถูกกวน
4. เพื่อทดลองหารูปแบบการไหลของของไหลที่เกิดจากการกวนด้วยใบพัดแบบต่างๆ
5. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ใช้ขับใบกวน ความเร็วรอบของใบกวน เส้นผ่าศูนย์กลางใบกวน ความหนาแน่นและความหนืดของของไหลที่ต้องการกวนผสม
6. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง เลขเรย์โนลด์ และ เลขกำลัง
7. เพื่อศึกษาถึงวิธีการนำเอาถึงผสมมาตรฐานไปประยุกต์ใช้งานอุตสาหกรรมจริงต่อไปได้ โดยวิธีการขยายขนาด (scale up)

## บทที่ 2

## หลักการและทฤษฎี

โดยทั่วไปแล้วของเหลวมักถูกกวนในภาชนะทรงกระบอก ซึ่งอาจเป็นแบบปิดหรือแบบเปิดก็ได้ การกวนโดยทั่วไป การกวนอาจทำงานแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องก็ได้ ความสูงของของเหลวประมาณเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางถึงใบกวน (impeller) ติดอยู่บนเพลา (shaft) ซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า กรณีการกวนแบบต่อเนื่องผลิตภัณฑ์ที่จะผสมต้องถูกป้อนและปล่อยออกแบบต่อเนื่อง เช่นการกวนในถังปฏิกริยา (chemical reactor)

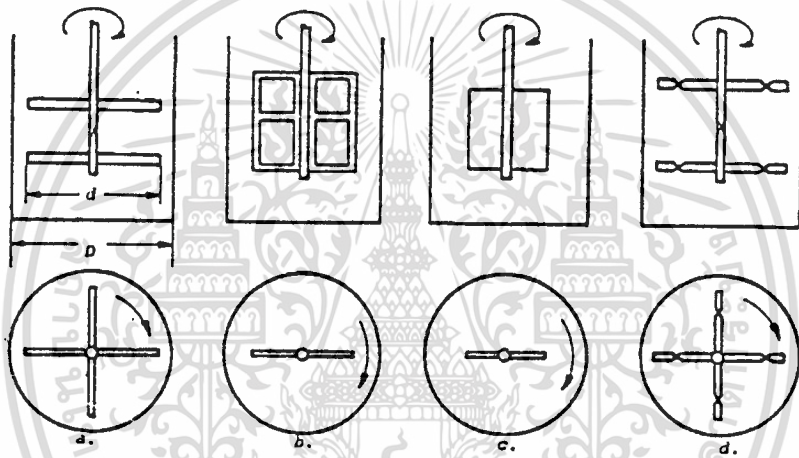
เครื่องกวนที่ใช้กันโดยทั่วไปมีหลายชนิด รูปที่ 2-1 แสดงเครื่องกวนซึ่งใช้สำหรับของของเหลวความหนืดต่ำเช่น นมครีมเต็มรูป (full cream milk) ปกติเครื่องกวนชนิดนี้ใช้กับของเหลวที่ค่าความหนืดไม่เกิน  $0.5 \text{ Pa.s (kg/m.s)}$  ความเร็วรอบของการกวนขึ้นกับเส้นผ่าศูนย์กลางของภาชนะ ความหนืด และความไว (sensitivity) ของผลิตภัณฑ์ที่ความเร็ว peripheral สูงถึง 15 เมตรต่อวินาที จำนวนรอบของการหมุน  $n$  สามารถมีค่าสูงถึง 3000 รอบต่อนาที ความเร็ว peripheral โดยทั่วไปควรมีค่าไม่เกิน 8 เมตรต่อวินาที ชนิดของแท่งกวนแบบ (paddle) และ (impeller) แตกต่างจากแบบ (propeller) และ (turbine) โดยทิศทางของการเคลื่อนที่ระหว่างการกวน โดย 2 แบบแรกเคลื่อนที่ของเหลวในแนวรัศมีจากด้านในสู่ด้านนอกขณะที่ใบกวน 2 แบบหลังขับของไหลให้เคลื่อนที่ตามแนวแกน



รูปที่ 2-1 เครื่องกวนที่ใช้สำหรับของเหลวความหนืดต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2-2 แสดงเครื่องกวนสำหรับผลิตภัณฑความหนืดปานกลางถึงความหนืดสูง เช่น โยเกิร์ต ครีมเนม เครื่องกวนชนิดนี้ใช้ในช่วงความหนืด 0.5 ถึงสูงสุด 5 Pa.s แท่งกวนแบบแท่งกากบาท (cross rod) ประตู (gate) และใบพาย (blade paddle) ขับให้ผลิตภัณฑเคลื่อนที่ในแนวรัศมีจากด้านในสู่ด้านนอก และเคลื่อนที่ในแนวสัมผัสด้วย (สำหรับแบบ MIG ขับให้ผลิตภัณฑเคลื่อนที่ในแนวแกนทั้งสองทิศทาง) กรณีใบกวนแบบ MIG แท่งกวนกากบาทหลายชุดติดตั้งกันอยู่บนแกนด้วยมุม 90 องศา ทำให้ผลิตภัณฑเคลื่อนที่ในแนวแกนทั้งภายในและภายนอกในทิศทางตรงข้ามกัน ทำให้เกิด small annular vortices ตลอดปริมาตรทั้งหมดของของเหลว

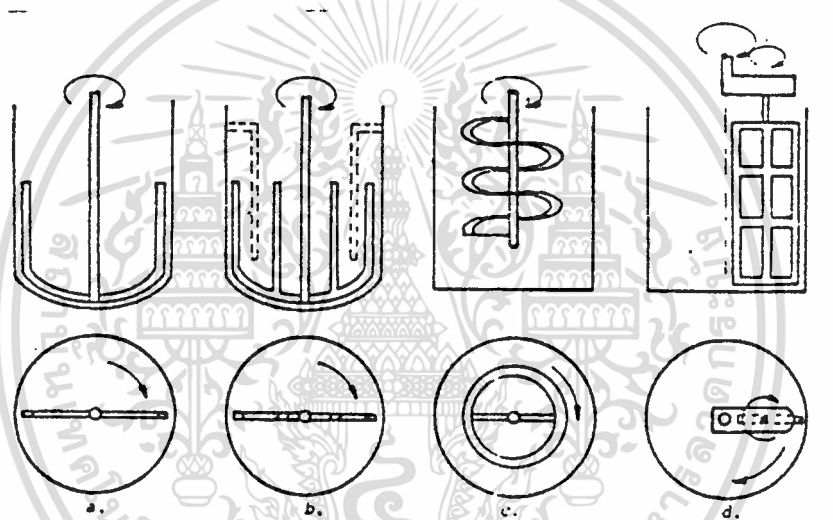


รูปที่ 2-2 เครื่องกวนสำหรับผลิตภัณฑความหนืดปานกลาง-และสูง

- a. cross rod stirrer ( $d/D = 0.8 \dots 0.9$ )
- b. gate stirrer ( $d/D = 0.5 \dots 0.7$ )
- c. blade paddle stirrer ( $d/D = 0.5 \dots 0.7$ )
- d. MIG = multistate-impluse-contra-flow stirrer  
( $d/D = 0.5 \dots 0.98$ )

รูปที่ 2-3 แสดงเครื่องกวนของของไหลซึ่งมีความหนืดสูงมาก เช่น puddings processed cheese ใบกวนแบบเกือกม้า (horseshoe) และ intermeshing finger ขับเคลื่อนผลิตภัณฑในแนวสัมผัสด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 100 รอบต่อนาที สำหรับใบกวนแบบแถบเกลียว helical ribbon ขับให้ผลิตภัณฑเคลื่อนตาม

แนวแกน แท่งกวนเหล่านี้โดยปกติจะขับเคลื่อนชิดกับผนังเพื่อเคลื่อนผลิตภัณฑ์ออกจากผนังได้  
 คั้งนี้ เครื่องกวนชนิดนี้สามารถถ่ายเทความร้อนสู่หรือจากผนัง เครื่องกวนชนิด (d) ใน  
 รูปที่ 2-3 เหมาะสำหรับการใช้งานเฉพาะอย่างวัตถุผงและของเหลวเป็น (doughy) หรือ  
 (pasty mass) มักประกอบด้วยแท่งกวนแบบประตู (gate) ซึ่งติดอยู่บน (planet  
 wheel) ของเกียร์ (epicyclic) ซึ่งหมุนเร็วอย่างสัมพันธ์ถึงประมาณ 500 รอบต่อ  
 นาที รอบแกนของมัน มันหมุนอย่างช้ามาก รอบแกนของภาชนะบรรจุที่น้อยกว่า 100  
 รอบต่อนาที ดังนั้นใบกวนถึงส่วนต่างๆ ของภาชนะ และมีการผสมกันตลอดทั้งส่วนภายใน  
 และภายนอกของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2-3 เครื่องกวนของไหลความหนืดสูงมาก

- horseshoe stirrer ( $d/D = 0.9..0.98$ )
- finger stirrer with baffle ( $d/D = 0.9..0.98$ )
- helical ribbon stirrer ( $d/D = 0.95..0.98$ )
- gate stirrer with epicyclic gear turning round two axes

## ลักษณะการไหลของผลิตภัณฑ์ระหว่างการกวน

ลักษณะการไหลของผลิตภัณฑ์ในถังกวนขึ้นกับ

- (1) คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์
- (2) รูปร่างของถังกวน
- (3) ชนิดของใบกวน
- (4) ชนิดของแผ่นกั้น (baffles) ในถัง

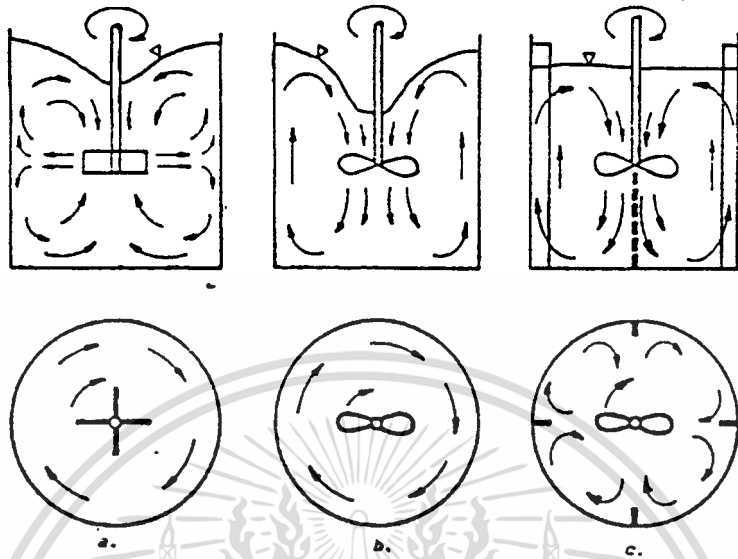
ลักษณะการไหลแบ่งเป็น 3 แบบ ตามรูปร่างของตัวกวน

- (1) การไหลแนวรัศมี (radial flow) ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากใบกวนแบบ blade (turbine) ลักษณะการไหลจะแบ่งของไหลแนวรัศมีติดผนังเป็นสองส่วน โดยส่วนหนึ่งไหลสู่ก้นถังและไหลกับขึ้นมาสู่ใบกวน ดังรูปที่ 2-4 a
- (2) การไหลตามแนวแกนโดยใบกวนแบบใบพัด (propeller) ดังรูปที่ 2-4 b
- (3) การไหลแบบแนวสัมผัสเส้นขอบถัง รูปที่ 2-4 a, b

การไหลตามแนวสัมผัสจะมีข้อเสียเมื่อไหลเร็วมาก (too intensive)

รูปทรงการไหลของไหลจะเป็นรูปกรวยหรือไหลวน (funnel or whirlpool) ภาสวดี พฤติกรรมที่เหมาะสม และอาจดูดเอาอากาศเข้าไปผสมกับของไหลมาก นอกจากนี้ถ้า ผลิตภัณฑ์ซึ่งถูกกวนมีความหนาแน่นต่างกันเช่น สารละลายแขวนลอย หรือ emulsion ของผสมนี้อาจแยกกันเนื่องจากผลจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง การไหลลักษณะนี้สามารถ ป้องกันได้โดยติดแผ่นกั้น (baffles) แนวตั้ง (รูปที่ 2-4 c) ซึ่งช่วยลดการไหลวนและ ช่วยให้การผสมดีขึ้น ปกติแล้วแผ่นกั้น baffles 4 ใบ ก็เพียงพอโดยความกว้าง

ของ baffles น้อยกว่า  $1/8$  ของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ หรือติดตั้งตัวกวนในแนวเอียง แนวเบี่ยงออกจากศูนย์กลาง หรือแนวขวางจากด้านใดด้านหนึ่งของผนังภาชนะ



รูปที่ 2-4 รูปแบบการไหลของผลิตภัณฑ์ในถังกวนด้วยใบพัดแบบต่างๆ

a. blade stirrer

b. propeller stirrer

c. propeller stirrer with baffles

อย่างไรก็ตามการตั้งแนวเบี่ยงศูนย์กลางสำหรับ vigorous agitation ที่กำลังสูงๆ แรงซึ่งไม่สมดุลจะรุนแรงมากและเป็นตัวจำกัดการใช้กำลังสูงๆ

ในระบบการกวนอัตราการไหลโดยปริมาตร หรืออัตราการหมุนวนของของไหลมีความสำคัญในการควบคุมปริมาณทั้งหมดของการผสมในเวลาที่เป็นไปได้ การไหลวนก็เป็นสิ่งสำคัญในการผสมเช่นกัน เนื่องจากมันดึงวัตถุจากกลุ่มของเหลวในถังเข้าไปในสายการไหล ทั้งการหมุนวนของของไหล และการไหลวนต้องใช้พลังงานทั้งคู่ การกวนบางอย่างต้องการไหลแบบอลวนต่ำ แต่อัตราการหมุนวนของของไหลทั้งหมดสูง ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของของไหลและปริมาณการผสมที่ต้องการ

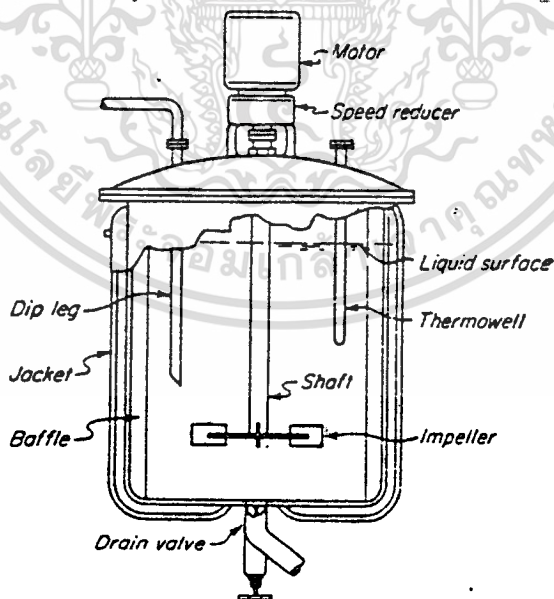
องค์ประกอบบางอย่างมีอิทธิพลต่อการไหลได้แก่ การไหลในแนวตั้งมากๆ ช่วยให้การกระจายของของไหลดีขึ้น การรักษาสถานะวนลอยแรงเฉือนไม่มีอิทธิพลต่อ



การไหล แรงเฉือนจำนวนมากที่ไหลวนในของไหลเป็นสิ่งที่ต้องการ สำหรับ  
กระจาย emulsion โดย fragmentation ถ้าต้องการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน  
ความสำคัญควรใช้อัตราการไหลที่ผนังสูง

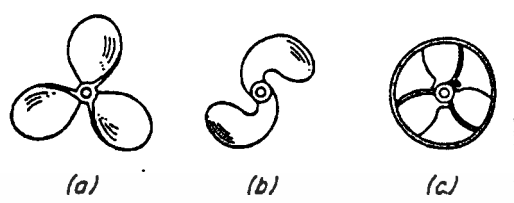
### อุปกรณ์สำหรับการกวน

โดยทั่วไปแล้วของเหลวจะถูกกวนในภาชนะซึ่งมักเป็นรูปทรงกระบอกตั้ง ด้าน  
บนของภาชนะอาจเป็นแบบปิดหรือเปิดสู่อากาศก็ได้ กันถึงทำเป็นแบบมน ไม่มีมุมเพื่อป้องกัน  
การสะสมของไหลไม่ทั่วถึงบริเวณมุมอับ สัดส่วนของตัวถังภาชนะจะเปลี่ยนไปตามวัตถุประสงค์  
ของการกวนความสูงของไหลในถังประมาณเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของถัง ใบกวนจะติดอยู่  
บนเพลลาซึ่งยึดติดกับตัวถัง ตัวเพลลาถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ โดยส่วนมากมักมีชุด  
เพื่องลดความเร็วรอบติดอยู่ด้วยนอกจากนี้ยังมีส่วนอื่นๆ ได้แก่ ท่อทางเข้า ทางออก ผลิต  
ชุดหุ้มตัวถังท่อสำหรับวัดอุณหภูมิรวมอยู่ด้วย รูปแบบทั่วไปของเครื่องกวนดังแสดงในรูป 2-5



รูปที่ 2-5 ดังกวนแบบทั่วไป

ปกติแล้วใบพัดมักมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 45 ซม. การติดตั้งใบพัดของเหลวหลายๆ ใบอาจใช้ใบพัด 2-3 ตัวติดบนแกนเพลาคือเดียวกัน โดยทั่วไปจะติดในทิศทางขับของไหลให้เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน แต่บางกรณีจะติดทิศทางตรงข้ามกันเมื่อต้องการช่วงซึ่งหมุนสวนระหว่างใบทั้งสอง



รูปที่ 2-6 แบบของใบพัด

- a. standard three-blade
- b. weedless
- c. guarded

2. paddles (ใบพาย) เป็นใบกวนแบบแบนๆ ติดอยู่บนเพลาคือใช้กันอยู่ส่วนใหญ่เป็นแบบ 2 ใบ และ 4 ใบ บางทีใบบิดเอียง แต่ส่วนมากจะเป็นแบบตั้ง ใบพายหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำถึงปานกลาง ประมาณ 20-150 รอบต่อนาที ในอุตสาหกรรมความยาวของใบพายส่วนใหญ่ประมาณ 50-80 เปอร์เซ็นต์ของเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของถังกวน ความกว้างของใบประมาณ 10-17 เปอร์เซ็นต์ของความยาว ใบพายขับเคลื่อนของเหลวให้เคลื่อนที่ในแนวรัศมีและแนวสัมผัส โดยเกือบจะไม่มีกการเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับใบกวน ถ้าใบกวนไม่เป็นแนวเอียง กระแสการไหลของของเหลวจะเคลื่อนที่ออกข้างนอกสู่ผนังภาชนะ จากนั้นจึงเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงที่ความเร็วรอบต่ำมากๆ จะเกิดการกวนอย่างเบาๆ อ่อนๆ ในภาชนะที่ไม่มีแผ่นกั้น (baffle) ถ้าความเร็วรอบสูงของเหลวจะไหลวนรอบๆ ผนัง แต่มีการผสมกันน้อยมากดังนั้นจำเป็นต้องใช้แผ่นกั้น สำหรับถังหลายๆ ใบอาจใช้ใบพายหลายใบติดบนเพลาคือเดียวกัน การออกแบบใบตามรูปร่างถังภาชนะเป็นแบบจาน หรือรูปครึ่งซีกภาชนะเพื่อที่จะสามารถกวาดเนื้อผิวหน้าผนังภาชนะ ใบแบบนี้เรียกว่า anchor agitator ซึ่งใช้ป้องกันการเก็บสะสมบนผิวภาชนะที่ความร้อนที่ผนังภาชนะซึ่งถ่ายเทความร้อนด้วย แต่ใบชนิดนี้ผสมได้ไม่ดี ดังนั้นจึงมักใช้ร่วมกับใบพายความเร็วรอบ

ใบกาน (Impellers) ใบกานแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ axial-flow impellers เป็นใบกาน ซึ่งให้กระแสการไหลของของไหลขนานกับแกนของใบกาน และ radial flow impeller เป็นใบกานซึ่งให้กระแสการไหลของของไหลมีทิศทางขนานกับรัศมีของใบกาน

ใบกานแบ่งออกได้เป็น 3 แบบใหญ่ๆ คือ

1. propellers (ใบกาน)
2. paddles (ใบพาย)
3. turbines (กังหัน)

ใบกานในแต่ละแบบนี้ยังมีส่วนปลีกย่อยซึ่งแตกต่างกันไปอีก นอกจากใบกานทั้ง 3 แบบนี้แล้ว ยังมีใบกานแบบอื่นๆ ซึ่งออกแบบสำหรับการใช้งานเฉพาะอย่างอีกด้วย

1. propellers (ใบพัด) เป็นใบกานแบบเกิดการไหลตามแนวแกน (axial flow) ใช้สำหรับของเหลวความหนืดต่ำ ใบพัดขนาดเล็กหมุนด้วยความเร็วรอบตามความเร็วรอบของมอเตอร์ ขณะที่ตัวขนาดใหญ่หมุนด้วยความเร็วรอบประมาณ 400-800 รอบต่อนาที กระแสการไหลออกจากใบกานแบบต่อเนื่องผ่านของเหลวในทิศทางซึ่งกำหนดให้จนกระทั่งกระทบกับผนังหรือกันของภาชนะ ใบกานแบบใบพัดนี้ใช้ได้ผลดีกับภาชนะซึ่งใหญ่มากๆ เนื่องจากกระแสการไหลไม่ตก

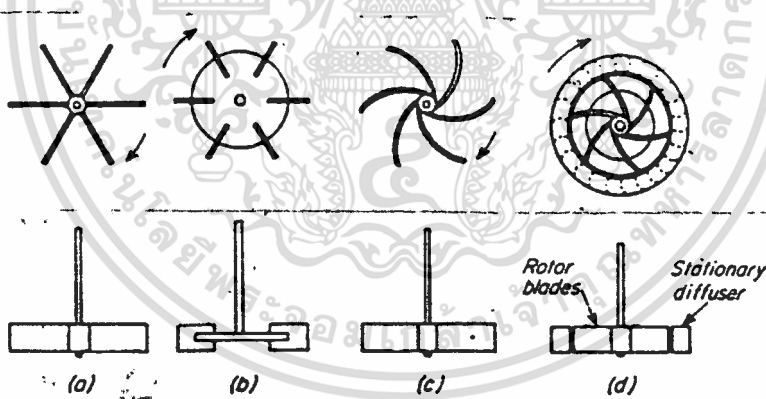
กรณีไม่มีการลื่นไถลระหว่างของเหลวกับใบพัด การหมุนหนึ่งรอบของใบพัดจะเคลื่อนที่ของเหลวได้ระยะทางคงที่ตามแนวยาว ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมเอียงของใบพัด อัตราส่วนระหว่างระยะทางนี้กับเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด เรียกว่าระยะ pitch ของ propeller โดย pitch เท่ากับ 1 เรียกว่า square pitch

รูป 2-6 แสดงแบบต่างๆ ของใบพัด แบบที่ใช้กันมากที่สุดได้แก่ แบบมาตรฐาน 3 ใบ (standard three bladed marine type) เป็น square pitch ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ propeller ซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนเรือ นอกจากนี้ยังมีแบบ 4 ใบ (four-bladed) แบบฟัน (toothed) และแบบอื่นๆ ซึ่งออกแบบสำหรับใช้งานลักษณะเฉพาะ

สูงหรือใบกวนแบบอื่นๆ ปกติแล้วใบจะหมุนในทิศทางตรงข้ามกัน

3. turbines ใบกวนแบบกังหันส่วนมากเป็นใบแบบใบพาสขนาดสั้นหลายใบประกอบกันติดอยู่บนเพลาที่จุดศูนย์กลางของถัง ใบหมุนด้วยความเร็วรอบสูง อาจเป็นใบตรงหรือโค้งติดแบบเอียง หรือแนวตั้งก็ได้ ตัวใบอาจติดตั้งเป็นแบบเปิดกึ่งปิด (semiclosed) หรือมีแผ่นโหลห่กันรอบ (shrouded) เส้นผ่าศูนย์กลางของใบจะเล็กกว่าแบบใบพาส คือขนาดประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ของเส้นผ่าศูนย์กลางภาชนะ

ใบกวนแบบกังหัน ใช้งานได้ดีกับของไหลซึ่งมีค่าความหนืดต่างๆ กันในของไหลความหนืดต่ำ ใบกวนแบบกังหันให้กระแสการไหลแรงตลอดภาชนะ และช่วยกำจัดจุดซึ่งของไหลหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ช้าๆ บริเวณใกล้ใบกวนเป็นช่วงกระแสการไหลเร็วเกิด การอลวนสูงและแรงเฉือนสูง กระแสการไหลหลักเป็นแนวรัศมีและแนวสัมผัสใบกวนโดยส่วนประกอบการไหลแนวสัมผัส ก่อให้เกิดการไหลวนและคุดลง ซึ่งแก้ไขได้โดยใช้แผ่นกัน (baffle) หรือวงแหวนตัวกระจาย (diffuser ring) รูปที่ 2-7 แสดงแบบใบกวนของกังหัน



รูปที่ 2-7 ใบกวนแบบกังหัน

- a. open straight blade
- b. blade disk
- c. vertical curved blade
- d. shrouded curved blade with diffuser ring

## ลักษณะการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการกวน

การเคลื่อนที่ของของไหลในถังกวนขึ้นกับองค์ประกอบหลายประการได้แก่

- (1) คุณสมบัติของของไหล
- (2) ชนิดของใบกวน
- (3) รูปร่างและขนาดของถังกวน, แผ่นกั้น และชุดกวน

ความเร็วของของไหลที่จุดใดๆ ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนซึ่งแตกต่างกันไปจากจุดต่อจุดได้แก่

- (1) การไหลแนวรัศมี ซึ่งกระทำในแนวทิศทางตั้งฉากกับเพลลาของใบกวน
- (2) การไหลแนวยาว (longitudinal) ซึ่งกระทำในทิศทางขนานกับ

แกนเพลลา

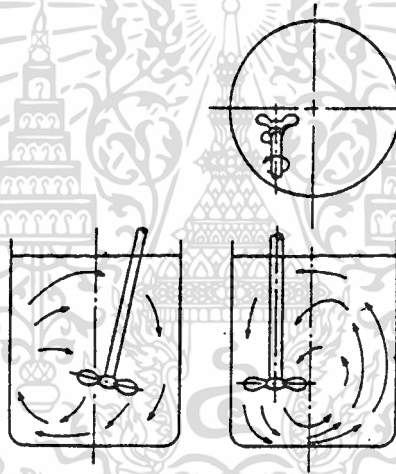
- (3) การไหลแนวสัมผัสหรือแนวหมุน (tangential หรือ rotational) ซึ่งทำในทิศทางสัมผัสกับเส้นทางวงกลมรอบๆ แกนเพลลา

ปกติเมื่อเพลลาอยู่ในแนวตั้ง การไหลแนวรัศมีและแนวยาวเป็นตัวกระทำให้เกิดการผสมกัน แต่แนวทางการไหลสัมผัสจะมีข้อเสียเมื่อไหลเร็วมากรูปทรงการไหลจะเป็นรูปกรวยหรือไหลวนเกิดผิวหน้าเป็นน้ำวน (vortex) และมีแนวโน้มเกิดแบบต่อเนื่องโดยการไหลวนแบบราบเรียบแบ่งเป็นชั้นๆ ที่ระดับต่างๆ โดยไม่เกิดการไหลตามแนวแกนระหว่างระดับภายใต้เหตุการณ์ที่เหมาะสม และถ้า vortex ลึกมากๆ จนถึงใบกวนอาจดึงอากาศเข้าไปผสมกับของไหลมาก นอกจากนี้ถ้าผลิตภัณฑ์ที่ถูกกวนมีความหนาแน่นต่างกันเช่น สารละลายแขวนลอย (suspension) หรือ emulsion ของผสมนี้อาจแยกกันเนื่องจากผลของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง การไหลวนลักษณะนี้สามารถเกิดขึ้นได้กับถังซึ่งไม่มี baffle กับใบกวนทุกชนิด

## การป้องกันการไหลวน (swirling)

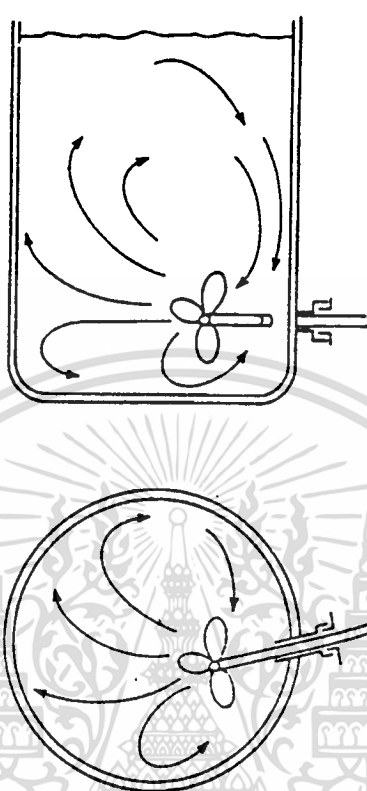
ปรากฏการณ์การไหลวนของของไหลในถังกวนสามารถป้องกันได้โดย 3 วิธีต่อไปนี้

(1) ติดตั้งแกนใบกวนแนวเบี่ยงออกจากศูนย์กลาง ( off-center impeller ) ใช้สำหรับถังกวนขนาดเล็กแกนเพลลาจะติดตั้งเลื่อนจากศูนย์กลางของถัง และทำมุมเอียงในแนวตั้งฉากกับแนวเบี่ยงศูนย์กลาง ดังแสดงในรูป 2-8 วิธีการนี้เหมาะสำหรับถังกวนขนาดเล็ก สำหรับการกวนด้วยความเร็วสูงที่กำลังสูงๆ แรงไม่สมดุลจะรุนแรงมาก และเป็นตัวจำกัดการใช้กำลังสูงๆ



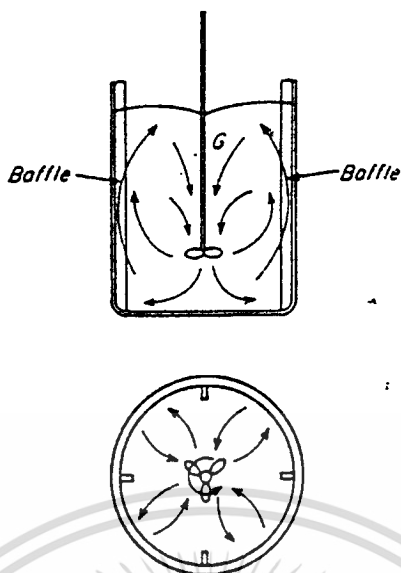
รูปที่ 2-8 การติดตั้งใบกวนแนวเบี่ยงออกจากศูนย์กลาง

(2) ติดตั้งตัวกวนด้านข้างของถังกวน โดยเวลาทำมุมเอียงหรือขนาน  
แนวระดับ ดังแสดงในรูป 2-9 วิธีนี้สามารถใช้ได้กับถังกวนขนาดใหญ่



รูปที่ 2-9 การติดใบกวนด้านข้างของถังกวน

(3) การติดแผ่นกั้น (baffles) วิธีนี้ใช้ได้กับถังใหญ่ ซึ่งมีการกวน  
ในแนวตั้ง ตัว baffle ช่วยลดการไหลวนของของไหลโดยไม่แทรกแซงการไหลแนวรัศมี  
และแนวแกนและช่วยให้การผสมดีขึ้น ปกติแล้วแผ่นกั้นมักติดตั้งในแนวตั้งและตั้งฉากกับผนัง  
ของภาชนะ ลักษณะของแผ่นกั้นและการไหลของของไหลแสดงในรูปที่ 2-10 ปกติแล้วถ้าถัง  
ไม่ใหญ่มากๆ แผ่นกั้น 4 แผ่นก็เพียงพอสำหรับป้องกันการไหลวน และการเกิด vortex  
สำหรับถังตัน ความกว้างของแผ่นกั้นควรจะไม่เกิน  $1/12$  ของเส้นผ่าศูนย์กลางถัง สำหรับ  
ใบพัดไม่ควรเกิน  $1/18$



รูปที่ 2-10 รูปแบบการไหลของผลิตภัณฑ์ในถังที่ติดแผ่นกัน

ใบกวนแบบ shrouded และ diffuser ring สามารถใช้กับใบกวนแบบกึ่งตันเพื่อกันการไหลวนแทนการใช้แผ่นกัน อุปกรณ์ชนิดนี้คิดแปลงมาจากลักษณะการทำงานของปั๊มหอขโธ้ง แต่มีจุดประสงค์หลักเพื่อเพิ่มความมืดและลดการหมุนวน วงแหวนตัวกระจายมีแนวทางป้องกันกระแสการไหลจากการถึงมุมไกลของถังกวน การติดตั้งและดูแลรักษาทำได้ยาก แต่มีประโยชน์มากถ้าต้องการแรงเฉือนสูง และการไหลเวียนแบบพิเศษที่ทางออกของใบกวน

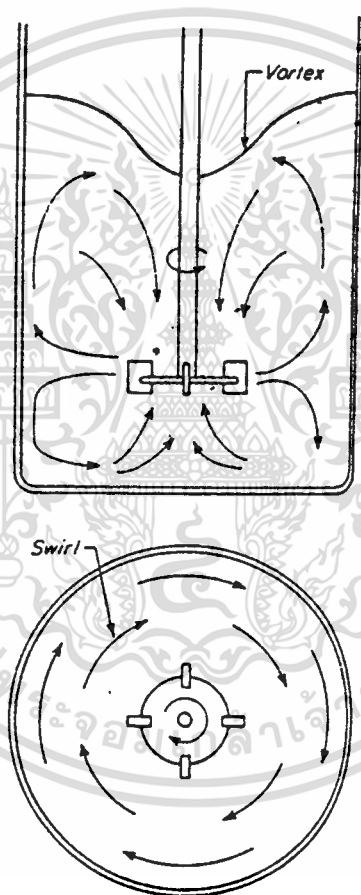
กรณีไม่มีการไหลวน ลักษณะการไหลโดยเฉพาะในถังกวนขึ้นกับชนิดของใบกวน

ใบกวนแบบใบพัด ขับให้ของเหลวเคลื่อนที่แนวตรงลงสู่ก้นถังกวน จากนั้นจึงกระจายในแนวรัศมีทุกทิศทางสู่ผนังแล้วไหลขึ้นตามผนังจนถึงกวน และหมุนกลับลงมาจากส่วนบนด้วยแรงดูดของใบพัด ดังแสดงในรูป 2-10 ใบแบบใบพัดเมื่อต้องการกระแสการไหลแรงในแนวแกนเพลลาเช่น กรณีต้องการแขวนลอยอนุภาคของแข็งหนัก ปกติมักใช้ใบกวนใบพัด กับของไหลซึ่งมีค่าความหนืดไม่เกิน  $5 \text{ pa.s}$  ( $\text{kg/m.s}$ )

ใบกวนใบพาย ขับของไหลให้เคลื่อนที่แนวรัศมีในแนวระนาบกับตัวใบกวนได้ดี แต่การเคลื่อนที่ในแนวตั้งจากน้อยมาก ซึ่งทำให้การใช้งานของใบกวนชนิดนี้มีจำกัด

และไม่เหมาะสมกับการแขวนลอยของของแข็ง

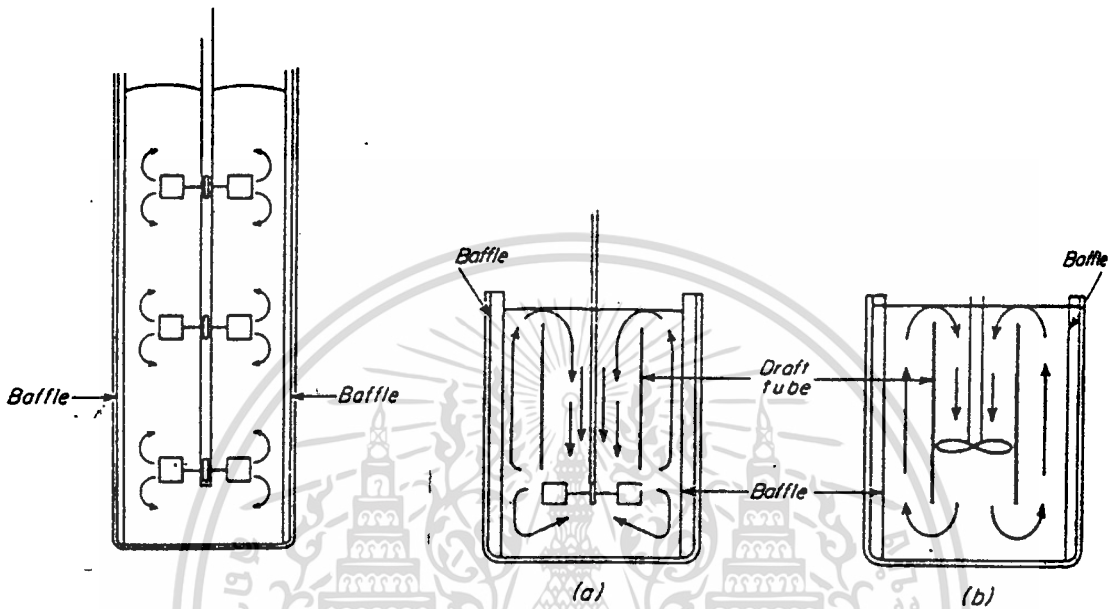
ใบกวนแบบกังหัน ใบกวนชนิดนี้ขับเคลื่อนของไหลให้เคลื่อนที่แนวรัศมีสู่ด้านนอก จากนั้นจึงเส้นทางการไหลแยกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งไหลขึ้นสู่ผิวหน้าของของไหลแล้วไหลกลับจากด้านบนใบกวน ส่วนที่สองไหลลงยังก้นถังแล้วไหลกลับขึ้นจากด้านล่างขึ้นสู่ศูนย์กลางของใบกวน ดังแสดงในรูปที่ 2-11 ใบกวนแบบนี้ให้ผลในการไหลแนวรัศมีได้ดีและยังช่วยให้เกิดการไหลในแนวตั้งด้วยโดยเฉพาะเมื่อติดแผ่นกัน ใบกวนชนิดนี้เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับผสมของเหลว ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2-11 รูปแบบการหมุนวน และการเกิดหลุมน้ำวนในถังกวน

ในถังกวนทรงกระบอกถึงความลึกของของไหล ความเร็วขนาดเท่ากับหรือมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของถังกวนเล็กน้อย แต่ถ้าต้องการความลึกของของไหลมากๆ

ควรวิธีเพิ่มจำนวนชุดใบกวาดติดตั้งบนแกนเพลาดียวกัน โดยใบกวาดแต่ละชุดทำงาน เหมือนกับเป็นเครื่องกวาดแยกกัน โดยการไหลวนเกิดขึ้น 2 ชุด ในแต่ละชุดใบกวาดดัง แสดงในรูป 2-12 ชุดกวาดล่างสุดไม่ว่าจะเป็นแบบกังหัน หรือใบพัด ควรติดตั้งห่างจากกันถึง ประมาณเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของชุดใบกวาด



รูปที่ 2-12 การเพิ่มชุดของกังหัน  
ในถังกวนขนาดใหญ่

รูปที่ 2-13 การควบคุมการไหลโดยติดตั้ง draft tube  
ของกังหันและใบพัด

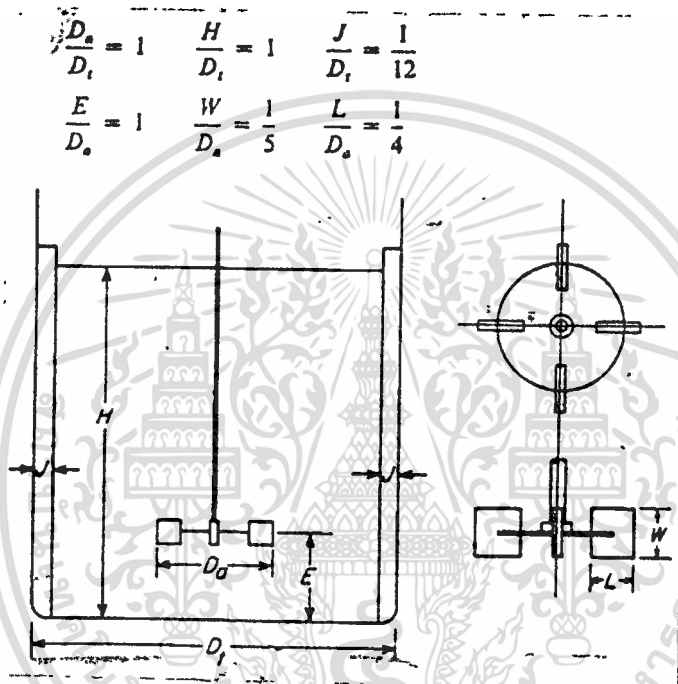
### Draft tube

Draft tube ใช้กรณีต้องการควบคุมทิศทางและความเร็วของการไหลสู่ ช่วงการดูดของใบกวาด เครื่องมือนี้มีประโยชน์เมื่อต้องการแรงเฉื่อยสูงในตัวใบกวาดเอง เช่น ในโรงงาน หรือการกระจายของอนุภาคของแข็งซึ่งมีแนวโน้มลอบหนีของเหลวใน ของเหลว Draft tube ที่ใช้กับใบพัดมักติดตั้งรอบใบกวาด ส่วนที่ใช้กับกังหันติดบริเวณ เหนือขึ้นไปจากใบกวาดดังแสดงในรูปที่ 2-13 ตัว Draft tube เข้าไปเพิ่มความฝืดให้กับ ของไหลในระบบทำให้อัตราการไหลลดลง ดังนั้นถ้าไม่มีความจำเป็นจึงไม่ควรใช้

## การออกแบบกังหันมาตรฐาน ( standard turbine )

ใบกวนแบบกังหันมาตรฐานใช้กันทั่วไปในงานกวนและผสมของไหล อัตราส่วนปกติ อัตราส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2-14

ปกติใช้ใบกวนจำนวน 6-8 ใบ แต่สามารถเปลี่ยนแปลงระหว่าง 4-16 ใบ โดยทั่วไป ระบบกวนใช้แผ่นกัน 4 ชิ้น



รูปที่ 2-14 กังวนแบบกังหันมาตรฐาน

## กำลังงานที่ต้องการสำหรับการผสมของไหลนิวตัน

การหาค่ากำลังที่ต้องการสำหรับขับเคลื่อนใบกวนตามต้องการ จำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ของกำลังที่ต้องการ (empirical correlation) กับตัวแปรอื่น ๆ ของระบบ ตัวแปรซึ่งมีอิทธิพลต่อการต้องการกำลังงานได้แก่

$$P = f ( \mu , \rho , N , D_m , g )$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ  $P$  = กำลังที่ต้องการสำหรับการกวาด  
 $\mu$  = ความหนืดของไหล  
 $\rho$  = ความหนาแน่นของของไหล  
 $N$  = ความเร็วรอบของใบกวาด  
 $D_m$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของใบกวาด  
 $g$  = แรงโน้มถ่วงของโลก

โดยวิธีการวิเคราะห์มิติ ได้กลุ่มไร้มิติต่อไปนี้

$$N_p = f(N_{Re}, N_{Fr})$$

เมื่อ  $N_p$  = เลขกำลัง (power number)  $= Pr / \rho N^3 D_m^5$  (1)

$N_{Re}$  = เลขเรย์โนลด์ (Renold number)  $= \rho N D_m^2 / \mu$  (2)

$N_{Fr}$  = เลข (Froude number)  $= N^2 D_m / g$  (3)

$$= \frac{\text{แรงร่วมจากพลังงานจลน์}}{\text{แรงร่วมจากแรงโน้มถ่วง}}$$

$$Pr / \rho N^3 D_m^5 = c (\rho N D_m^2 / \mu)^j (N^2 D_m / g)^k \quad (4)$$

เมื่อ  $c, j, k$  = ค่าคงที่

ถ้าผสมของเหลวซึ่งผสมกันไม่ได้สองชนิดเข้าด้วยกัน แรงตึงผิวระหว่างผิวทั้งสองจะเป็นตัวแปรที่เพิ่มขึ้นมากและได้กลุ่มไร้มิติ เวเบอร์ (weber group) มีค่า  $N^2 D_m^3 / \rho$  เมื่อ คือแรงตึงผิวสำหรับรูปร่างของใบกวาดและกังวาลที่ต่างกันค่ากลุ่มไร้มิติอาจจะต้องเพิ่มเข้ามาในสมการ (4) รูป 2-15 แสดงกราฟจากการ plot สมการ

(4) สำหรับชนิดต่าง ๆ ของใบกวน ลักษณะของ baffle และรูปร่างลักษณะของกังวาน รายละเอียดความแตกต่างของแต่ละเส้น แสดงไว้ในตารางด้านเบของรูปที่ 2-15

ในระบบการกวนซึ่งติดตั้ง baffle หรือติดตั้งแกนเพลาลอกจากแนวศูนย์กลางกังวานเพื่อกำจัดการหมุนวน อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงสามารถตัดทิ้งได้ และเลข Froude สามารถตัดทิ้งได้ จากรูปเห็นได้ว่าอิทธิพลของเลข Froude ปรากฏเมื่อการกวนเกิดการหมุนวน และเมื่อเลขเรย์โนลด์มากกว่า 300 สำหรับกังวซึ่งติดตั้ง baffle หรือกรณีติดตั้งแกนเพลาลอกจากแนวศูนย์กลาง หรือด้านข้างของผนังกังวาน หรือเลขเรย์โนลด์น้อยกว่า 2,000 ซึ่งไม่เกิดการหมุนวนนั้น เลข Froude ไม่เป็นตัวแปร

กรณีต้องการขยายสภาวะซึ่งไม่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 2-15 สามารถทำได้ โดยหาค่าตัวประกอบความถูกต้อง (correction factor) จากสมการของ Brown et.al. (1950)

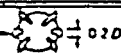
$$\text{Correction factor} = \frac{(D_c/D_a)(Z_1/D_a)}{(D_t/D_a)(Z_1/D_a)} \quad \text{ต้องการ} \quad (5)$$

เมื่อ  $D_c$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของกังวาน

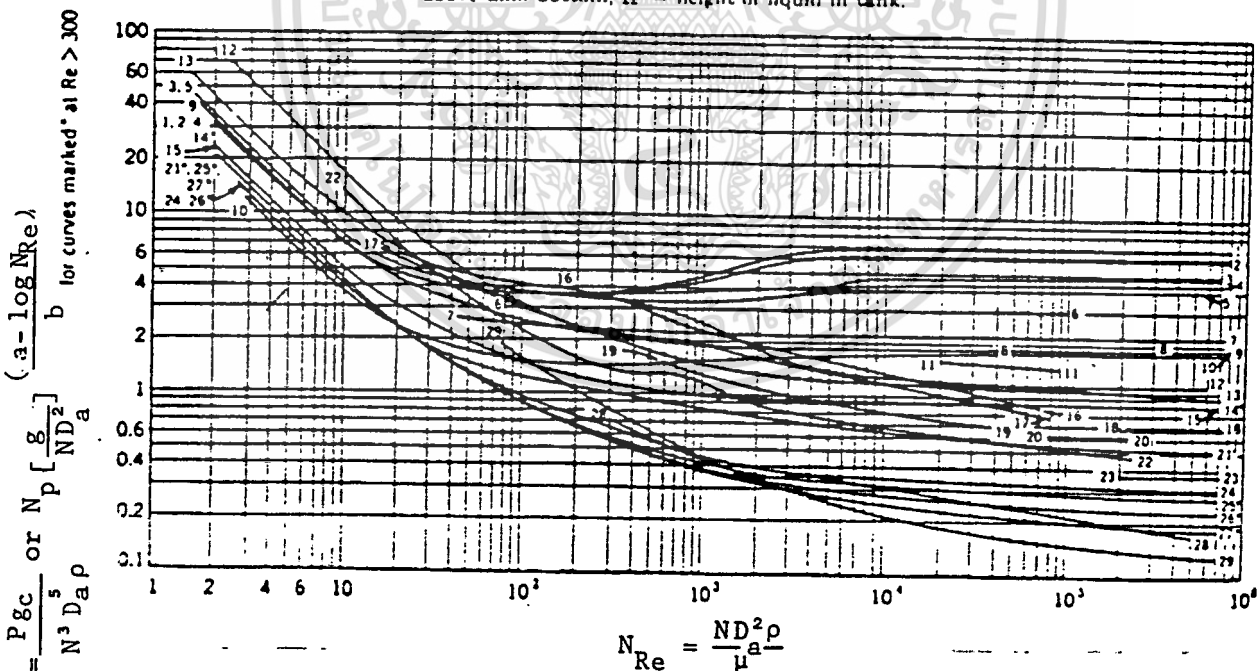
$D_a$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของใบกวน

$Z_1$  = ความลึกของของไหล

โดยการคูณค่าองค์ประกอบแก้ไขกับค่าทำนายการใช้กำลังงาน ซึ่งหาได้จากรูปที่ 2-15 ก็จะได้ค่าการใช้กำลังงานที่ถูกต้องสำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงในการออกแบบ กรณีต้องการให้ได้อัตราการกระจายของของไหล 2 ชนิด หรือของของแข็งในของเหลวคงเดิม Wilkinson (1960) แนะนำว่าระบบซึ่งรูปทรงคล้ายกัน สัดส่วนเท่ากัน และวัสดุที่ใช้สร้างเหมือนกัน กำลังที่ให้ต่อหน่วยปริมาตรต้องใช้เหมือนกันทั้งแบบจำลองและเครื่องขยายต้นแบบ เพื่อให้ได้สัดส่วนการกระจายเท่ากัน โดย

| Type of Impeller                                                                                                                                 | $\frac{D_t}{D_a}$ | $\frac{H}{D_a}$ | $\frac{E}{D_a}$ | Baffles<br>No. $w/D_a$ | No. | Ref. | Type of Impeller                                                                                                                 | $\frac{D_t}{D_a}$ | $\frac{H}{D_a}$ | $\frac{E}{D_a}$ | Baffles<br>No. $w/D_a$ | No. | Ref. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|------------------------|-----|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|------------------------|-----|------|
| Turbine with 6 flat blades $0.25D$                              | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4 0.17                 | 1   | 7    | Paddle with 2 blades                            | 4.25              | 4.3             | 0.29            | 3 0.11                 | 8   | 3    |
| Same as No. 1.                                                                                                                                   | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4 0.10                 | 2   | 7    | Paddle with 4 blades. See No. 8.                                                                                                 | 3                 | 3               | 0.5             | 0                      | 16  | 2    |
| Same as No. 1                                                                                                                                    | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4 0.04                 | 4   | 7    | Paddle with 2 blades See No. 8.                                                                                                  | 3                 | 3.2             | 0.33            | 0                      | 20  | 4    |
| Same as No. 1. $a = 1, b = 40$                                                                                                                   | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 0                      | 14* | 7    | Paddle with 2 blades See No. 8                                                                                                   | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4 0.10                 | 10  | 7    |
| Turbine with 6 curved blades<br>Blade sizes same as No. 1       | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4 0.10                 | 3   | 7    | Paddle with 2 blades<br>See No. 8 Blade width = $0.13D$ .                                                                        | 1.1               | 0.5             | 0.19            | 0                      | 29  | 10   |
| Turbine with 6 arrowhead blades<br>Blade sizes same as No. 1    | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4 0.10                 | 5   | 7    | Paddle with 2 blades.<br>See No. 8 Blade width = $0.17D$ .                                                                       | 1.1               | 0.4             | 0.10            | 0                      | 29  | 10   |
| Radial turbine<br>with deflector ring                           |                   |                 |                 | 0                      | 7   | 9    | Marine propeller with 3 blades<br>Pitch = $2D$  | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4 0.10                 | 15  | 7    |
| Shrouded turbine with 6 blades.<br>20-blade deflector ring                                                                                       | 2.4               | 0.74            | 0.9             | 0                      | 11  | 6    | Same as No. 15 $a = 1.7, b = 18$                                                                                                 | 3.3               | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 0                      | 21* | 7    |
| Similar to No. 11, but not identical.                                                                                                            | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 0                      | 12  | 7    | Same as No. 15, but pitch = $1.33D$ .                                                                                            | 16                |                 |                 | 3 0.06                 | 18  | 5    |
| Same as No. 12, but no deflector ring                                                                                                            | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4 0.10                 | 13  | 7    | Same as No. 15, but pitch = $1.09D$ .                                                                                            | 9.6               |                 |                 | 3 0.06                 | 23  | 5    |
| Axial turbine with 8 blades<br>at $45^\circ$ angle See No. 17.  | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4 0.10                 | 9   | 7    | Same as No. 15, but pitch = $1.05D$ .<br>$a = 2.3, b = 18$                                                                       | 2.7               | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 0                      | 27* | 7    |
| Axial turbine with 4 blades<br>at $60^\circ$ angle              | 3                 | 3               | 0.50            | 0                      | 17  | 2    | Same as No. 15, but pitch = $1.04D$ .<br>$a = 0, b = 18$                                                                         | 4.5               | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 0                      | 25* | 7    |
| Axial turbine with 4 blades<br>at $45^\circ$ angle See No. 17                                                                                    | 5.2               | 5.2             | 0.87            | 0                      | 19  | 2    | Same as No. 15, but pitch = $D$ .                                                                                                | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4 0.10                 | 24  | 7    |
| Same as No. 19.                                                                                                                                  | 2.4-3.0           | 2.4-3.0         | 0.4-0.5         | 0                      | 22  | 2    | Same as No. 15, but pitch = $D$ .<br>$a = 2.1, b = 18$ .                                                                         | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 0                      | 26* | 7    |
| Disc with 16 vanes $0.1D$                                       | 2.5               | 2.5             | 0.75            | 4 0.25                 | 6   | 1    | Same as No. 15, but pitch = $D$ .                                                                                                | 3.8               | 3.5             | 1.0             | 0                      | 28  | 8    |

$D_a$  = diameter of impeller,  $D_t$  = diameter of tank,  $N$  = revolutions per second,  $w$  = width of baffle,  $E$  = elevation of impeller above tank bottom,  $H$  = height of liquid in tank.



รูปที่ 2-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์และเลขกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Pr_L / Pr_m = (D_L / D_m)^a \quad (6)$$

เมื่อ  $m$  = แบบจำลอง  
 $L$  = เครื่องขยายต้นแบบ

### กำลังที่ต้องการสำหรับการผสมของไหลที่ไม่ใช่นิวตัน

(Power Consumption in non-Newtonian fluids)

สำหรับของเหลวซึ่งไม่ใช่ของเหลวนิวตัน ค่าตัวเลขยกกำลังยังคงใช้เช่นเดียวกับของไหลนิวตัน แต่เลขเรย์โนลด์นั้นไม่แน่นอน เนื่องจากค่าความหนืดของของเหลวซึ่งไม่ใช่ของไหลนิวตัน มีค่าไม่คงที่เป็นค่าความหนืดปรากฏและเปลี่ยนไปตามความแตกต่างของชั้นความเร็ว (velocity gradient) ซึ่งมีค่าเปลี่ยนไปจากจุดถึงจุดหนึ่งในถังกวน อย่างไรก็ตาม เลขเรย์โนลด์สามารถหาได้จากการแทนค่าความหนืดด้วยความหนืดปรากฏ ซึ่งคำนวณจากค่าแตกต่างของชั้นความเร็วเฉลี่ย

$$N_{Re} = ND_m^2 \rho / \mu_a \quad (7)$$

$N_{Re}$  = เลขเรย์โนลด์สำหรับของไหลไม่ใช่ นิวตัน

$D_m$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของใบกวน

หลักวิธีของ Metzner และ Otto's (1957) คือ หาช่วงอัตราการเจือในเครื่องผสมและความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจือกับความเร็วยกกำลังของถังกวน เขาใช้ค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity) โดยให้ค่าจำกัดความเป็นความหนืดของของไหลนิวตัน

ซึ่งต้องการกำลังที่ใช้เท่ากันเมื่อเครื่องผสมมีขนาดและความเร็วรอบเท่ากันขณะเคลื่อนที่แบบราบเรียบ จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏกับค่าตัวแปรอื่น ๆ ในระบบ โดยการสมมติว่าการเคลื่อนที่ของของไหลในช่วงของใบกวนสามารถระบุ โดยอัตราเฉือนเฉลี่ย ซึ่งเป็นอัตราส่วนกับความเร็วรอบของใบกวน

$$\left( du/dy \right)_{av} = KN \quad (8)$$

เมื่อ  $K$  = ค่าคงที่ จากการทดลอง = 11

$N$  = ความเร็วรอบของใบกวน , รอบต่อวินาที

จาก 
$$\mu_{app} = \tau / (-du/dy) \quad (9)$$

แทนค่าสมการยกกำลังสำหรับของไหล psuedoplastic และ dilatant ลงในสมการ (9)

$$\mu_{app} = m \left( -du/dy \right)^{n-1} \quad (10)$$

แทนค่าสมการ (8) ลงในสมการ (10) ได้

$$\mu_{app} = m \left( 11N \right)^{n-1} \quad (11)$$

ของไหลสมการยกกำลัง ซึ่งรู้ค่า rheological parameters  $m, n$  และ ความเร็วรอบในการหมุนของใบกวน ,  $N$  ค่าความหนืดปรากฏสามารถคำนวณได้จากสมการ (11) ซึ่งค่าความหนืดปรากฏนี้ใช้คำนวณเลขเรย์โนลด์เพื่อใช้กับรูปที่ 2-15 เพื่อหาเลขกำลัง (power number) และหากำลังที่ต้องการต่อไป

รูปที่ 2-16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขกำลังกับเลขเรย์โนลด์สำหรับใบ กวนแบบ turbine 6 ใบ (six-bladed turbine) ในของไหล pseudoplastic เทียบกับของไหลนิวตัน ค่าความสัมพันธ์ในของไหล pseudoplastic และนิวตันเหมือนกัน ในช่วงเลขเรย์โนลด์ต่ำกว่า 10 และสูงกว่า 100 แต่ในระหว่างช่วงของเลขเรย์โนลด์ดังกล่าว ของเหลว pseudoplastic ต้องการกำลังน้อยกว่าของไหลนิวตัน ช่วงการเปลี่ยนแปลงจากการไหลแบบราบเรียบเป็นไหลอลวน สำหรับของไหล pseudoplastic จะยึดเข้า ออกไปเป็นที่เลขเรย์โนลด์ 40 แทนที่จะเป็น 10 ดังเช่นของไหลนิวตัน

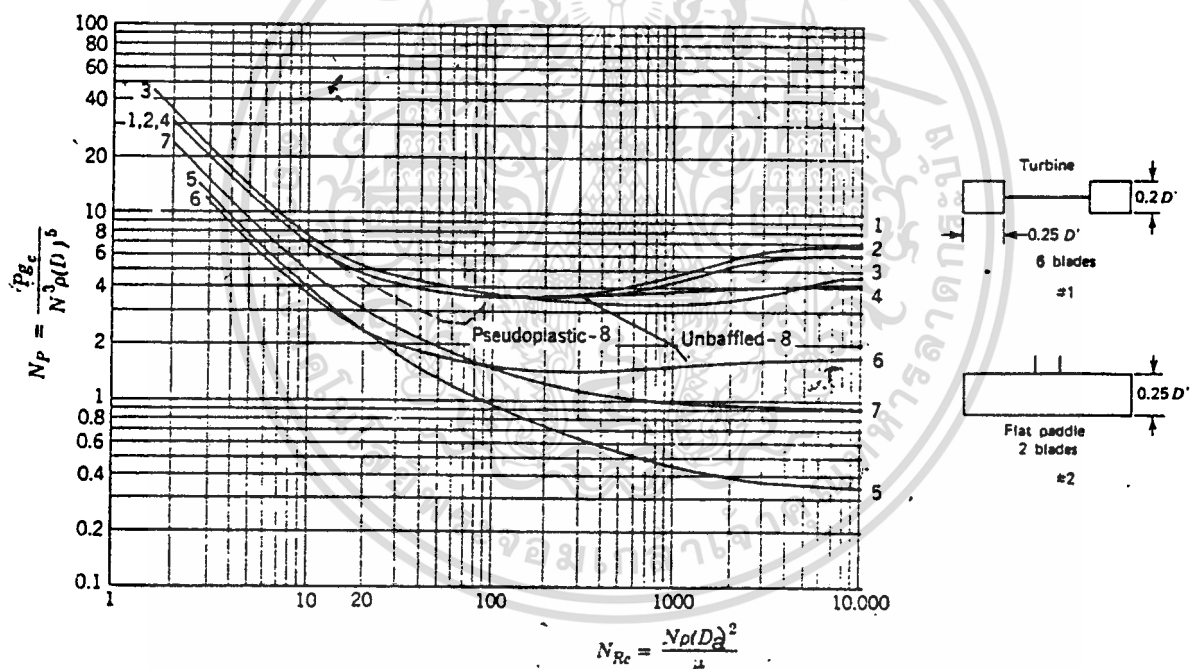
สำหรับของไหล dilatant Metzner แนะนำให้ใช้เส้นความสัมพันธ์ของ ของไหลนิวตัน

Wilkinson กล่าวว่า เส้นสำหรับของไหลนิวตันและของไหลซึ่งไม่ใช่ของไหลนิวตันใกล้เคียงกัน และน่าจะใช้ความสัมพันธ์สำหรับของไหลนิวตันกับเครื่องผสมชนิดอื่นๆ เมื่อประมาณค่ากำลังที่ต้องการสำหรับการกวนซึ่งค่าที่ได้นี้น่าจะเป็นค่าที่ปลอดภัยและประมาณค่าไว้สูงกว่าเป็นจริง เมื่อเส้นของของไหลนิวตันจะมีค่ามากกว่าของไหล pseudoplastic ในช่วงที่เส้นโค้งแยกจากกัน

ค่า  $Re$  ต้องรักษาให้เกิดการไหลเวียนถ่ายเทเพียงพอผ่านช่วงผสม สำหรับ กังหันชุดเดี่ยว ค่า  $Re$  แปรจาก 270 สำหรับเส้นผ่าศูนย์กลางกัง/ใบเทอร์โบ ( $D_u/D_n$ )=3 ถึง 50 สำหรับ  $D_u/D_n = 1.33$  ช่วง 50 เกิดในช่วงเส้น pseudoplastic ต่างจาก เส้น Newtonian

| Type of impeller                           | $\frac{D_t}{D_a}$ | $\frac{H}{D_a}$ | $\frac{E}{D_a}$ | Baffles<br>No. | $w/D_t$ | No. |
|--------------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------|-----|
| See # 1                                    | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4              | 0.17    | 1   |
| See # 1                                    | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4              | 0.10    | 2   |
| See # 1                                    | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4              | 0.04    | 4   |
| Same as # 1,<br>curved 2 blades            | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4              | 0.10    | 3   |
| Marine propeller<br>3 blades, pitch = $D'$ | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4              | 0.10    | 5   |
| See # 2                                    | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4              | 0.10    | 6   |
| Same as 5 but<br>pitch = $2D'$             | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 4              | 0.10    | 7   |
| See # 1*                                   | 3                 | 2.7-3.9         | 0.75-1.3        | 0              | -0.04   | 8.  |

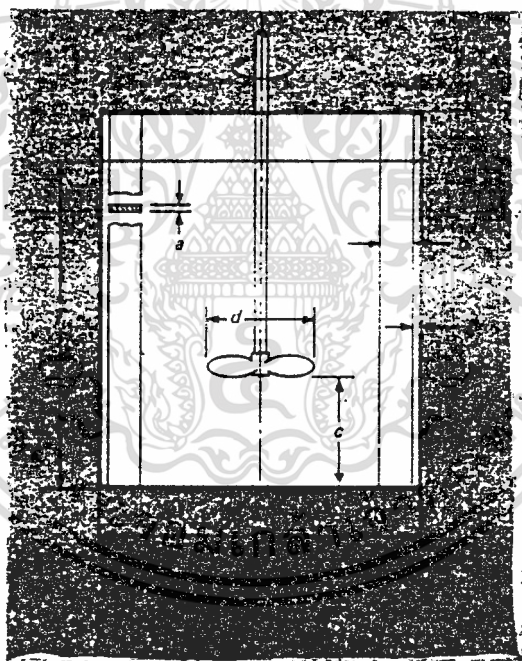
\*In non-Newtonian fluids (6). In unbaffled tanks (9).



รูปที่ 2-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์และเลขกำลัง

## รูปร่างของกังหันผสมที่ดี

โดยทั่วไปกังหันผสมที่ใช้กันมาก จะมีรูปทรงของกังหันแบบก้นเรียบ และมีค้ำรับอยู่ภายใน (flat-bottom baffled tank) ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่ 2-17 คุณสมบัติการใช้งานในการกวนของกังหันแบบนี้จะสูงมากกว่าตัวกังหันอื่นๆ หลักการทำงานเมื่อสารที่ต้องการผสมกับของเหลวภายในถังถูกเติมลงไปแล้ว จะไหลมารวมอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางถัง แล้วถูกใบพัดตีไปรอบๆ เส้นรอบวงของกังหันทำให้เกิดการปั่นป่วนอย่างรุนแรง สารที่ต้องการผสมเกิดการกระจายอย่างรวดเร็ว ทำให้ระบบการผสมไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานต่อปริมาตรของสารที่ผสมเสร็จแล้วดี เกือบดี และมีสารผสมแขวนลอยอยู่มากจนเกินไป



รูปที่ 2-17 ส่วนประกอบของถังมาตรฐานที่มีก้นเรียบพร้อมค้ำรับภายใน

การออกแบบกังหันที่ดีจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการผสมได้แม้ว่าจะใช้ความเร็วรอบในการกวนที่ต่ำ นอกจากจะเป็นการประหยัดพลังงานที่ใช้แล้วยังมีประโยชน์ทางด้านอื่นๆ อีกคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ช่วยลดค่าใช้จ่ายเพราะใช้อุปกรณ์การขับและส่งกำลังขนาดเล็กลง  
(เนื่องจากต้องการพลังงานที่ใช้ทำงานน้อยกว่านั่นเอง)
2. เกิดการสึกหรอของใบพัดน้อยกว่า ซึ่งเป็นไปตามความเปลี่ยนแปลง  
ของความเร็วรอบที่ปลายใบพัดของกังหันผสม
3. ความเสียหายที่เกิดจากผลึกรวมตัวกันมีน้อยลง เนื่องจากเกิดการชน  
กันเองเมื่อใช้ความเร็วรอบของใบพัดที่ต่ำกว่า

### วิเคราะห์การรวมกัน

องค์ประกอบสำคัญอย่างหนึ่งที่จะช่วยให้รูปร่างของกังหันและการควบคุมการผสม  
ของสารภายในถึงเป็นไปได้อย่างดีก็คือเรื่องของใบพัด ใบพัดที่ใช้กันอยู่มีอยู่หลายแบบ แต่ที่นิ  
ยมคือแบบที่มีลักษณะเหมือนกับใบจักรของเรือหางยาว ซึ่งยังแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือแบบที่  
ทำให้เกิดการหมุนวนภายในแนวรัศมี และแบบที่ทำให้เกิดการหมุนวนตามแนวแกนเพลลาของ  
เครื่องกววน นอกจากนี้ยังแบ่งเป็นประเภทได้ตามอัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ต่ออัตราการ  
ไหล ( $N_p/N_{qd}$ ) ซึ่งเป็นไปตามสมการดังนี้

$$N_p = P / \rho N^3 d^5$$

$$N_{qd} = qd / Nd^3$$

เมื่อ

$N_{qd}$  = ตัวเลขอัตราการไหลออก (1/รอบ)

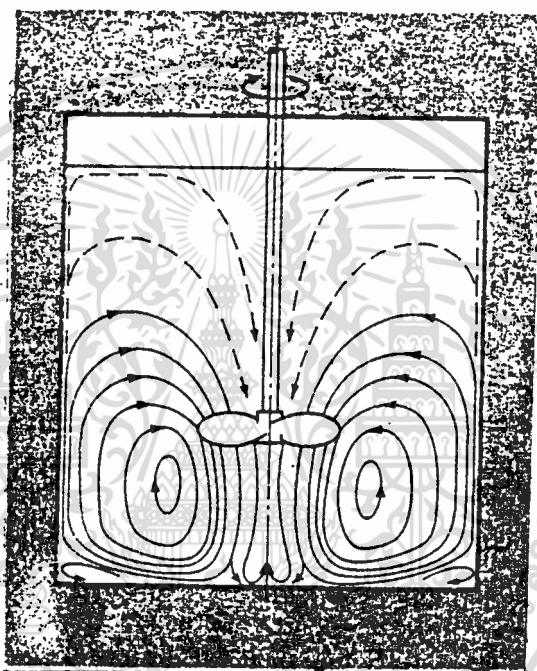
$N$  = ความเร็วรอบของใบพัด (รอบ/วินาที)

$P$  = พลังงานที่จ่ายให้กับเพลลาของเครื่องกววน (วัตต์)

$qd$  = อัตราการไหลออกจากใบพัด (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

ใบพัดที่มีอัตราส่วนของ  $Np/Nqd$  สูงจะเป็นใบพัดแบบใช้แรงเฉือน (shear type) ส่วนใบพัดที่มีอัตราส่วนต่ำจะเป็นแบบให้อัตราการไหลได้ตามต้องการ ใบพัดที่ทำให้เกิดการไหลวนตามแนวแกนเพลามีประสิทธิภาพมากกว่าแบบแนวรัศมี

เมื่อมาพิจารณาถึงที่นิยมใช้กันมากคือกังหันที่มีกังหันเรียงใบพัดแบบที่ทำให้เกิดการไหลวนตามแนวแกนเพลารูปแบบการกวนเป็นไปตามรูปที่ 2-18 โดยแบ่งวงจรการกวนออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนแรกจะไหลวนอยู่ใต้ใบพัด อีกส่วนหนึ่งจะไหลวนอยู่กันถึงไปยังผนังของกังหันแล้วกลับมาที่ใบพัดอีกทีหนึ่ง

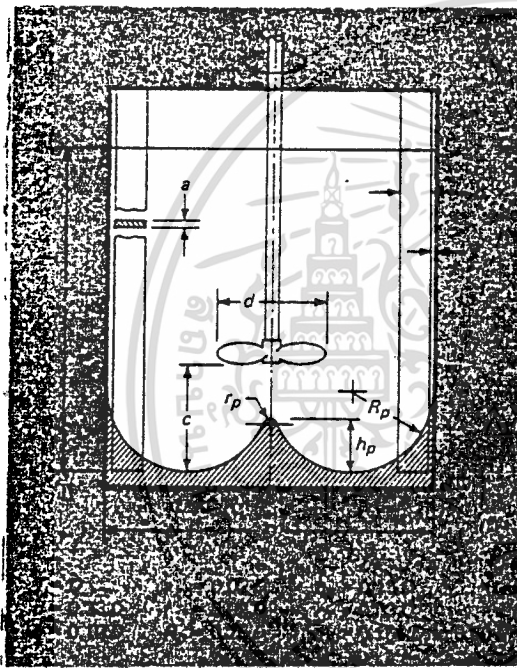


รูปที่ 2-18 รูปแบบการไหลในกังหันแบบกังหันมีแผ่นกรับ

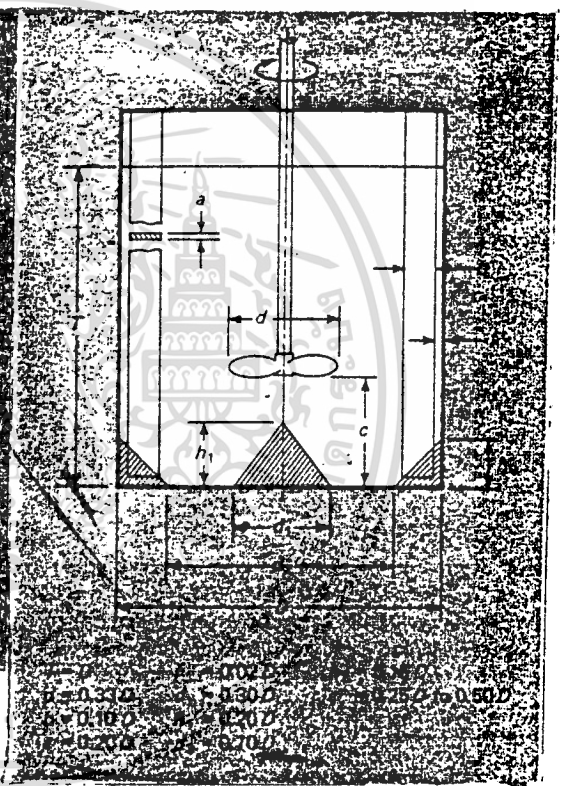
เนื่องจากความเร็วของของไหลส่วนใต้ใบพัดจะช้ากว่าความเร็วของของไหลส่วนอื่นๆ จึงทำให้สารที่ต้องการผสมที่มีขนาดเล็กๆ ผสมได้ช้ากว่าส่วนอื่นๆ ของกังหัน นอกจากจะเกิดการเพิ่มความเร็วยังในส่วนนี้เป็นพิเศษจึงจะทำให้เกิดการผสมได้เร็วขึ้น

การแก้ปัญหาเพื่อทำให้ประสิทธิภาพในการผสมดีขึ้น ก็คือเปลี่ยนทิศทางการไหลของของไหลให้เกิดขึ้นแบบทวนกันโดย ใช้กังหันที่มีกังหันแบบรูปครึ่งวงกลม 2 วง หรือ

รูปร่างคล้ายตัว W (fully profiled) ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่ 2-19 อย่างไรก็ตาม การออกแบบถังแบบนี้ค่อนข้างจะง่ายแต่การทำค่อนข้างจะยาก ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาการทำถังจึงขอแนะนำถึงอีกแบบหนึ่งที่ใช้การทำที่ง่ายกว่า คือถังที่มีก้นถังแบบรูปกรวยตัด (cone and fillet) ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่ 2-20 นอกจากจะออกแบบได้ง่ายแล้วค่าใช้จ่ายในการผลิตไม่แพง การดัดแปลงจากถังก้นเรียบที่มีอยู่แล้วให้เป็นแบบกรวยตัดนี้ทำได้ง่าย



รูปที่ 2-19 ขนาดส่วนประกอบต่างๆ  
ของถังผสมแบบก้นรูป  
กรังวงกลม 2 วง

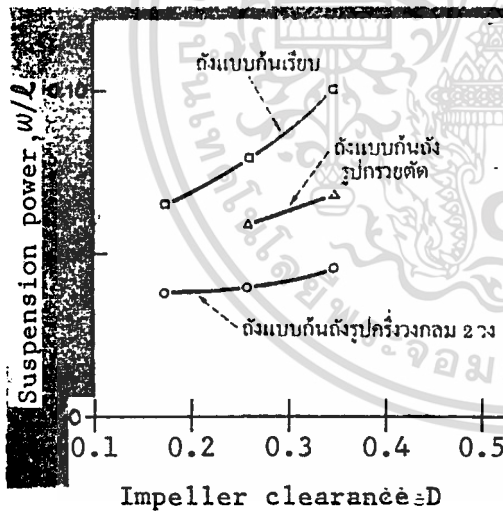


รูปที่ 2-20 ขนาดส่วนประกอบต่างๆของ  
ถังผสมแบบก้นรูปกรวยตัด

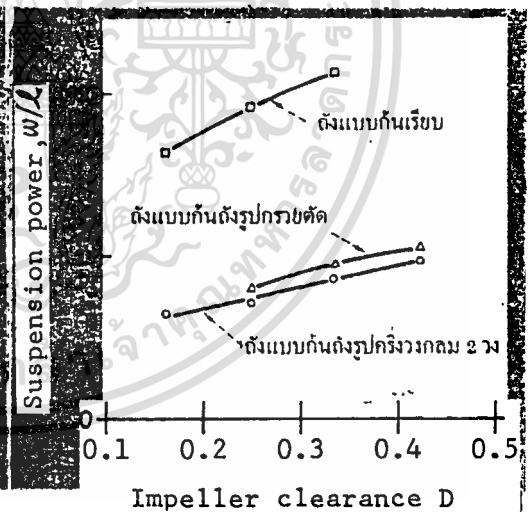
## การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผสม

ข้อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผสมของถังแบบก้นเรียบ      ถังแบบก้นรูปครึ่งวงกลม 2 วง และถังแบบก้นรูปกรวยตัดที่มีขนาด 0.5 เมตร โดยถังทั้งหมดใช้ใบพัดแบบใบจักรที่ลักษณะแบนอยู่ 3 ครีบในการกวน และใช้สารผสมตัวอย่างเป็นทรายซิลิกา (silica-sand) ที่มีขนาด 0.116 และ 0.290 มิลลิเมตรจะเกิดความสามารถในการรวมตัว (concentrations) เป็น 6.1, 12.2 และ 24.4 % โดยปริมาตรตามลำดับ จะเห็นว่าความสามารถในการรวมตัวจะใกล้เคียงกันนอกจากค่า 6.1% เท่านั้นที่เป็นของถังแบบก้นเรียบที่มีความสามารถในการรวมตัวที่ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการผสมกับรูปร่างของถังได้อย่างชัดเจน

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ต้องใช้ต่อการผสมที่สมบูรณ์ 1 หน่วยปริมาตร กับช่วงห่างของใบพัดกับก้นถัง ของถังทั้ง 3 แบบได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 2-21 และ 2-22



รูปที่ 2-21 แสดงความสัมพันธ์ของ  
พลังงานที่ใช้กับระยะห่าง  
ของใบพัด (ของทรายละเอียด)



รูปที่ 2-22 แสดงความสัมพันธ์ของ  
พลังงานที่ใช้กับระยะห่าง  
ของใบพัด (ทรายหยาบ)

จะเห็นได้ว่าเมื่อให้ระยะห่างของใบพัดกับกันดั๋งน้อย ประสิทธิภาพในการผสมก็จะสูง ดังนั้นการวางตำแหน่งของใบพัดจะต้องทำให้ถูกต้อง โดยพิจารณาจากค่าระยะห่างต่ำสุดที่ยอมให้ได้เป็นไปดังนี้ ถึงแบบรูปครึ่งวงกลมเป็น 0.167D ถึงกันรูปกรวยตัดเป็น 0.25D แต่ถ้าหากใช้กับการผสมสารที่มีขนาดเล็กมากควรมีระยะห่างเป็น 0.333D อย่างไรก็ตามระยะห่างเหล่านี้ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นๆ อีก เช่น ความเร็วรอบและชนิดของใบพัดที่ใช้ในการกวนด้วย

จากรูปที่ 2-21 เป็นการผสมทรายละเอียดจะเห็นว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผสมที่ดีที่สุดคือถึงแบบกันดั๋งรูปครึ่งวงกลม 2 วง และที่แย่ที่สุดคือถึงแบบกันเรียบที่มีการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองมาก ช่วงห่างระหว่างกันดั๋งกับใบพัดที่จะทำให้เกิดการผสมกันอย่างสมบูรณ์ของถึงทั้งแบบกันดั๋งรูปครึ่งวงกลม 2 วง และกันดั๋งรูปกรวยตัดควรจะเป็นที่จุด 0.333D (0.333 ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของถึง) เมื่อเปรียบเทียบความต้องการพลังงานโดยให้พลังงานที่ต้องการใช้กับถึงแบบกันเรียบเป็น 100% แล้วถึงแบบกันรูปครึ่งวงกลม 2 วง ต้องการพลังงานเพียง 45% และถึงแบบกันรูปกรวยตัดต้องการพลังงาน 67%

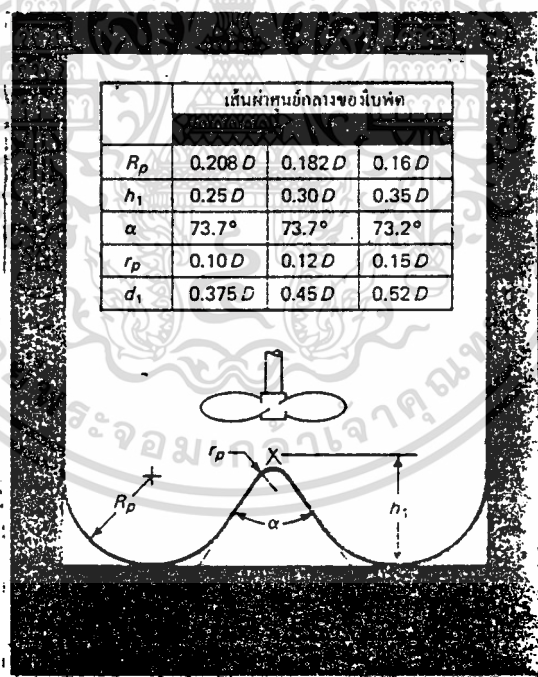
ส่วนในรูปที่ 2-22 เป็นการผสมทรายที่มีความหยาบกว่าทรายในรูปที่ 2-21 แสดงการเปรียบเทียบความต้องการพลังงานในการผสม จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในการผสมจะใกล้เคียงกันระหว่างถึงแบบกันดั๋งรูปครึ่งวงกลม 2 วง กับถึงแบบกันรูปกรวยตัด ส่วนถึงแบบกันเรียบก็ยังไม่เปลี่ยนแปลงยังต้องการพลังงานในการผสมสูง ตัวอย่างเมื่อวางตำแหน่งของใบพัดให้ห่างจากกันดั๋งที่จุด 0.333D เมื่อเปรียบเทียบกันจะได้ค่าความต้องการพลังงาน เมื่อให้พลังงานที่ต้องการใช้กับถึงแบบกันเรียบเป็น 100% ถึงแบบกันรูปครึ่งวงกลม 2 วงต้องการพลังงาน 41% และถึงแบบกันดั๋งรูปกรวยตัดต้องการพลังงานเพียง 43%

จากตัวอย่างที่กล่าวมานี้ จะเห็นได้ว่าสมรรถนะของถึงแบบกันรูปครึ่งวงกลม 2 วงกับถึงที่มีกันแบบกรวยตัดมีประสิทธิภาพดีกว่าถึงแบบกันเรียบ ยิ่งใช้กับทรายที่หยาบจะทำให้การผสมยิ่งยากกว่าทรายละเอียด และนี่ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานเมื่อต้องผสมทรายละเอียดทำได้ดังนี้

ถังแบบก้นรูปกรวยตัดเป็นถังที่พิเศษกว่าถังแบบอื่นๆ เนื่องจากคุณสมบัติของกรวยที่ก้นถังก่อให้เกิดมีรูปทรงอื่นๆ อีก คือ ทรงกลม แบบคล้ายจาน (dish) และรูปกรวย จึงช่วยให้ประสิทธิภาพของการไหลวนของของเหลวที่จุดกึ่งกลางของกรวยที่ก้นถังมีมุม 45 องศา และ 135 องศาอยู่ภายในถึงเกิดการไหลด้วยความเร็วสูง เมื่อใบพัดหมุนการสูญเสียพลังงานก็น้อยกว่าด้วย

ถังในรูปที่ 2-23 เป็นถังที่พัฒนาจากถังแบบก้นรูปกรวยตัด ก้นถังแบบนี้จะช่วยทำให้ประสิทธิภาพการไหลวนของของเหลวสูงขึ้น และวงจรการหมุนเป็นไปได้อย่างราบเรียบกว่าถังแบบก้นรูปครึ่งวงกลม 2 วง อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายในการสร้างถังแบบผสมนี้จะสูงกว่าถังแบบก้นรูปกรวยตัด แต่ก็ยังน้อยกว่าถังแบบก้นรูปครึ่งวงกลม 2 วง และเมื่อเปรียบด้านประสิทธิภาพแล้วถังแบบผสมนี้จะดีกว่าถังทั้งสองแบบ



รูปที่ 2-23 ถังที่พัฒนาจากถังแบบอื่นๆ และขนาดของใบพัดที่สัมพันธ์กัน

สำหรับในกรณีพิเศษเช่น สารผสมเป็นก้อนๆ หรือผลึก (crystallizers) จะต้องระมัดระวังการตกตะกอนและการนอนก้นของสารผสมเนื่องจากให้ความเร็วรอบของใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าไป ดังนั้นขนาดของกรวยที่จะทำให้เกิดการไหลที่ววนจะต้องเหมาะสมกับขนาดของใบพัด  
ด้วย ซึ่งขนาดของใบพัดควรจะอยู่ในช่วง 0.33D ถึง 0.5D ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่  
2-23 แล้ว

การออกแบบดังผสมนี้นับได้ว่าเป็นเรื่องที่ค่อนข้างจะซับซ้อน หลังจากที่ใช้  
งานถึงแล้ว อาจจะมีปัญหาอื่นๆ ตามมาอีก ซึ่งก็ต้องคอยแก้ปัญหาหรือปรับปรุงอยู่ตลอดเวลา



## การวัดค่ากำลังที่ใช้ในการผสมของเหลว

การวัดค่ากำลังเป็นสิ่งสำคัญในการผสมของเหลว เพราะจะต้องใช้เป็นข้อมูลในการเขียนเส้นโค้งของกำลัง เมื่อรู้ค่าความหนาแน่นของเหลว ( $\rho$ ) , ความเร็วรอบของการกวน ( $N$ ) และเส้นผ่าศูนย์กลางใบกวน ( $D_u$ ) , ค่ากำลัง ( $P$ ) จะถูกวัดเพื่อนำไปหาค่าเลขกำลัง ( Power number )

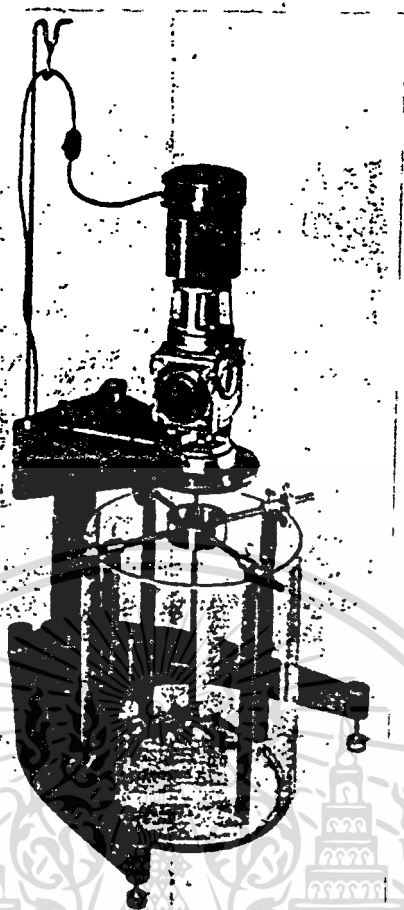
$$N_p = P / \rho N^3 D_u^5$$

การวัดค่ากำลังที่ใช้ สามารถตรวจวัดได้ทางกลและทางไฟฟ้า

### การวัดค่ากำลังด้วยวิธีทางกล

วิธีนี้การวัดค่าจากแรงบิดที่เกิดขึ้นจากการหมุนของเครื่องกวน เครื่องมือวัดแรงบิดมีชื่อเรียกทั่วไปว่า ไดนาโมมิเตอร์ ( dynamometers ) โดยอาศัยกฎข้อที่สามของนิวตัน ที่กล่าวว่า แรงกิริยาจะมีค่าเท่ากับแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นตรงกันข้าม ถือเป็นหลักการพื้นฐานของเครื่องมือวัดเหล่านี้

ไดนาโมมิเตอร์แบบง่ายแสดงในรูปที่ 2-24 ชุดขับเคลื่อนจะถูกยึดอยู่บนแบร็กกันรุน ( Thrust Bearing ) ซึ่งอยู่เหนือของเหลวในถังผสม การหมุนของตัวกวนจะทำให้เกิดแรงต้านจากของเหลว ของเหลวจึงทำให้เกิดแรงบิดส่งผ่านไปยังเพลารวมของมอเตอร์ แรงปฏิกิริยาของแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเป็นสาเหตุให้ชุดขับเคลื่อนแบร็กกันรุนหมุนไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการหมุนของตัวกวน วัดค่าแรงบิดที่เกิดโดยส่งแรงไปยังชุดเชื่อมต่อทางกล ( Machanical linkage ) อ่านค่าจากสเกลวัด ค่าที่วัดได้นำไปหาค่ากำลัง



รูปที่ 2-24 ไดนาโมมิเตอร์แบบ bench scale

$$\text{Power} = \text{Torgue} \cdot \text{Rate of angular displacement}$$

หรือ

$$P = F \cdot (d/12) \cdot w \quad (12)$$

- ค่า  $F$  = แรงในหน่วย  $lb_f$  ที่อ่านได้จากสเกล  
 $d$  = เป็นความยาวของแกน มีหน่วยเป็นนิ้ว  
 $w$  = ความเร็วเชิงมุม ( เรเดียนต่อวินาที )  
 $P$  = กำลัง (  $ft \cdot lb_f / sec$  )

$$\text{ค่า } 2\pi \text{ เรเดียน} = 1 \text{ รอบของการหมุน} \quad \text{ได้}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \omega &= 2\pi N \\
 &= \pi(\text{rpm}) / 30 \quad \text{radian/sec} \quad (13)
 \end{aligned}$$

เมื่อ  $N$  = ความเร็วรอบการหมุนตัวงาน ในหน่วยรอบต่อนาที  
 $\text{rpm}$  = ความเร็วรอบการหมุนตัวงาน ในหน่วยรอบต่อนาที

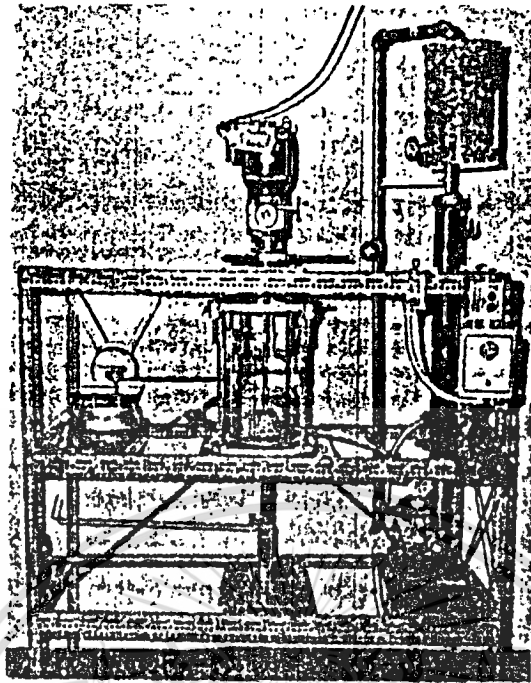
รวมสมการ 12 และ 13 เข้าด้วยกัน และให้  $1 \text{ hp} = 550 \text{ ft.lbf./sec}$  จะได้  
 กำลังแรงม้าจาก

$$\begin{aligned}
 \text{hp} &= F \cdot (d/12) \cdot \pi \text{rpm} / 30 \cdot 1/550 \\
 &= Fd \text{ rpm} / 63,025 \quad (14)
 \end{aligned}$$

ในกรณีนี้ ค่าแรงเสียดทานจะทำให้สูญเสียค่าแรงบิดไป ดังนั้นค่าของตัว  
 คูณความถูกต้อง จึงต้องนำมาใช้เพื่อให้ได้ค่ากำลังที่วัดจากอุปกรณ์ดังกล่าวถูกต้องยิ่งขึ้น ค่า  
 ตัวคูณความถูกต้อง หาได้จากแรงเสียดทานระหว่างตัวแปรซึ่งกันและกันกับการหมุนของมอเตอร์  
 และใบกวนในอากาศ ให้ค่าแรงเสียดทานที่หาได้ เขียนในรูปของ  $f \text{ (lbf)}$  , ค่าที่  
 ถูกต้องของสมการ (14) คือ

$$\text{hp} = (F+f) d \text{ rpm} / 63,025 \quad (15)$$

อุปกรณ์การวัดที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงในรูป 2-25



รูปที่ 2-25 ไคนาโมมิเตอร์แบบ pilot scale

รูปที่ 2-26 A แสดงระบบไคนาโมมิเตอร์ แบริงกันรุน โดยที่แรงที่ปลายแขนเกร็ง ( rigid arm ) ความยาว  $d$  (นิ้ว) ถูกส่งผ่านสายเคเบิลไปยังเครื่องอ่านค่าน้ำหนักแบบจานซึ่ง (pan) ที่สามารถปรับสมดุลของแรงได้ หรือจะใช้ตาชั่งแบบสปริงก็ได้ ค่าความยาวของสายเคเบิลไม่มีผลต่อแรงที่วัด

ในระบบนี้เราสมมติให้ค่ามุม  $\theta_n$  ระหว่างแขนและสายเคเบิลมีค่า 90 องศา ในความจริงอาจไม่ได้ค่าเช่นนั้น แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อให้ความยาวของแขนที่ใช้มีค่าน้อยที่สุด ,  $\sin \theta_n \sim 1.0$  และค่าแรงบิด (ft.lbf) สมการเขียนได้เป็น

$$F \sin \theta_n (d/12) \sim Fd/12 \quad ( 16 )$$

รูปที่ 2-26 (B) แสดงระบบของไคนาโมมิเตอร์ แบริงกันรุน ที่ซึ่งใช้แขนเกร็งส่งผ่านแรงไปยังตาชั่งสเกลแทนแบบสายเคเบิลในรูป 2-26 (A) ในแบบนี้ ค่าของ

ความยาวและมุมของแกนถือว่ามีความสำคัญ

สมการในระบบนี้ สมมติให้  $\phi_n = \phi_r = 90$  องศา ได้ว่า

$$hp = [(F+f) d \text{ rpm} / 63,025] \cdot (l_1/l_2) \quad (17)$$

โดย  $l_1$  และ  $l_2$  เป็นความยาวของแกนทั้งสอง

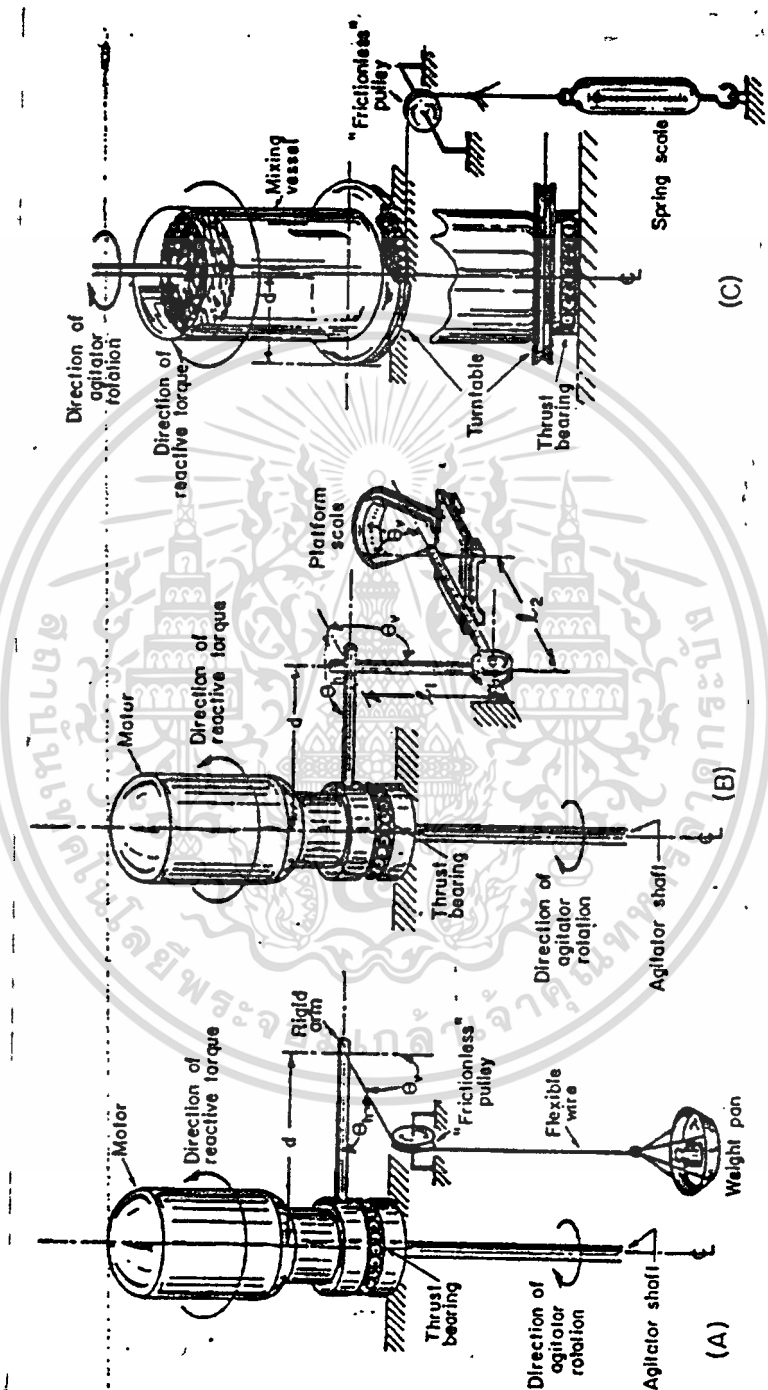
ระบบที่กล่าวมามอเตอร์ที่ขับจะติดตั้งอยู่บนแปรงกันรุน รูปที่ 2-26 (C) จะเป็นอีกแบบหนึ่งซึ่งถึงผสมจะวางอยู่บนแปรงกันรุน ในลักษณะนี้ แรงบิดที่เกิดขึ้นจะวัดได้จากแรงปฏิกิริยาของถึงผสม จากการหมุนของใบกวน ของเหลวจะทำหน้าที่เหมือนเป็นตัวกลางในการส่งผ่านแรง หาค่าแบบวิธีใช้สายเคเบิลหรือแขนเกร็ง โดยใช้สมการ (15) และสมการ (17) ตามวิธีที่ใช้

### วิธีการวัดค่ากำลังด้วยวิธีทางไฟฟ้า

วิธีนี้ ค่ากำลังทางไฟฟ้าถูกวัดโดยตรงจากวัตต์มิเตอร์และเปลี่ยนเป็นค่ากำลังม้า ด้วยตัวคูณ  $1 \text{ hp} = 745.5 \text{ วัตต์}$  ค่าที่กำลังที่ถูกต้อง จะต้องคิดค่าที่สูญเสียไปในมอเตอร์ แปรง และเกียร์ทดด้วย เมื่อค่ากำลังในการกวนมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังทางไฟฟ้าที่ป้อน จาก

$$\begin{aligned} \text{กำลังของการกวน} &= \text{กำลังทางไฟฟ้าที่ป้อน} - \text{ค่ากำลังทางกลและทางไฟฟ้าที่สูญเสีย} \\ \text{ประสิทธิภาพของมอเตอร์} (\eta) &= \text{Output Power} / \text{Input Power} \end{aligned}$$

ค่าของ  $\eta$  ของมอเตอร์ จะถูกกำหนดมาจากโรงงานผู้ผลิต ในรูปของกราฟที่เปลี่ยนแปลงไปตามเงื่อนไขของโหลด



รูปที่ 2-26 เครื่องวัดแรงบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การคำนวณออกแบบและการสร้าง

เนื่องจากในการออกแบบต้องการความสามารถในการกวนดังนี้

- 1) ความเร็วรอบในการกวน (N) 0-1000 rpm
- 2) ขนาดถังกวน มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ( $D_u$ ) 20 cm
- 3) ขนาดใบกวน มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ( $D_u$ )

$$\text{จาก } D_u/D_u = 1/3$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } D_u &= 20/3 \\ &= 6.67 \end{aligned}$$

- 4) ความหนืด ( $\mu$ ) ของสารที่ต้องการกวนอยู่ในช่วง 0.5 - 5 Pa.s
- 5) ความหนาแน่น ( $\rho$ ) ของสารที่ต้องการกวนมีค่าไม่เกิน  $1300 \text{ kg/m}^3$

#### 1) การคำนวณหากำลังมอเตอร์ที่ต้องการ

ในการคำนวณหากำลังมอเตอร์ที่ต้องการ จำเป็นจะต้องทราบตัวแปร 3 ตัวคือ

1. Power number ( $N_p$ ) =  $P / \rho N^3 D_u^5$
2. Renold number ( $N_{Re}$ ) =  $\rho N D_u^2 / \mu$
3. Froude number ( $N_{Fr}$ ) =  $N^2 D_u / g$

$$\begin{aligned} \text{จาก } N_{Re} &= \rho N D_u^2 / \mu \\ &= (1300)(1000/60)(0.19/3)^2 / 5 \\ &= 17.38 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากกราฟรูปที่ 2-15 } W/Dt &= 1/12 \\ &= 0.083 \sim 0.10 \end{aligned}$$

## เลือกกราฟเบอร์ 2

$$\text{ได้} \quad N_p \sim 4.2$$

$$\text{จาก} \quad N_p = P g_c / \rho N^3 D^5$$

$$4.5 = P / (1300)(1000/60)^3 (0.19/3)^5$$

$$\text{ดังนั้น} \quad P = 27.597 \quad \text{Watt}$$

$$\text{จะได้} \quad \text{กำลังมอเตอร์ที่ต้องการเท่ากับ} \quad 28 \quad \text{Watt}$$

## 2) ชุดเฟืองส่งกำลัง

จากมอเตอร์ที่นำมาใช้ เป็นมอเตอร์แบบ A.C. มีขนาด 63 watt ความเร็วรอบ 12,000 rpm ที่แกนเพลามอเตอร์มีเฟืองตรง มีจำนวนฟันของเฟือง 19 ฟัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางนิตซ์ 20 มม

ต้องการทดความเร็วรอบให้เหลือ 1,000 rpm เพราะฉะนั้นจาก

$$\begin{aligned} \text{อัตราทด} (m) &= 12,000 / 1000 \\ &= 12 \end{aligned}$$

การออกแบบจะต้องออกแบบให้มีการส่งกำลังจากแนวราบไปแนวตั้ง ทำให้ต้องใช้เฟือง 2 ชุด คือ

1) ชุดเฟืองตรง ส่งกำลังจากเพลามอเตอร์ ไปยังเพลาที่ติดเฟืองหนอน โดยใช้อัตราทด 1.5

จาก อัตราทด(velocity ratio) = จำนวนฟันของเฟืองตาม/จำนวนฟันของเฟืองขับ

$$m = N_2 / N_1$$

$$1.5 = N_2 / 19$$

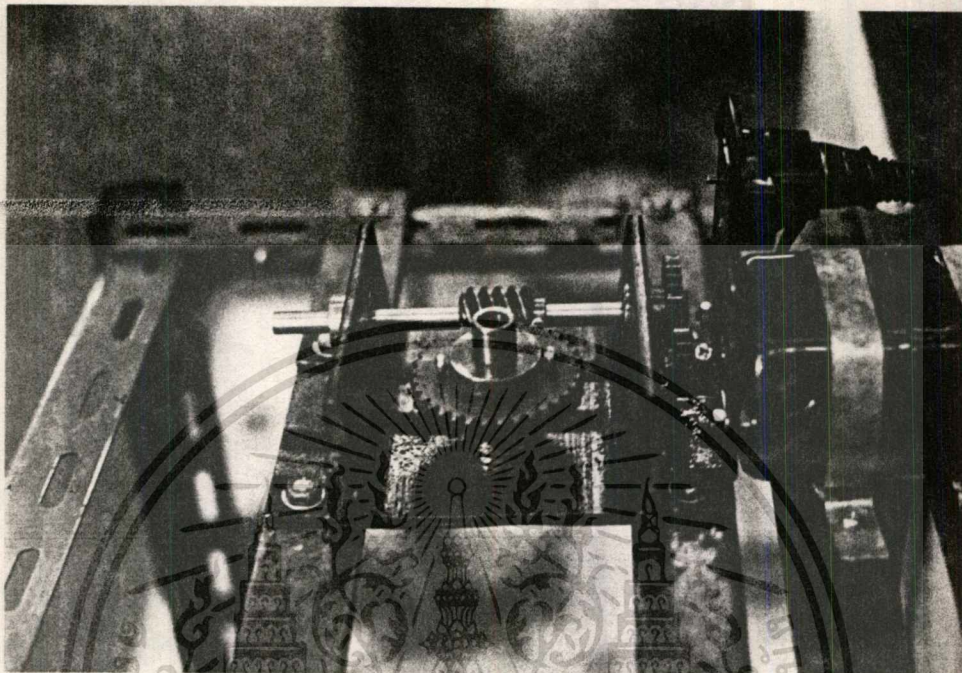
$$\text{เพราะฉะนั้น} \quad N_2 = 1.5 \times 19$$

$$= 28.5$$

เพราะฉะนั้น จำนวนฟันของเฟืองตาม = 29 ฟัน

2) ชุดเพื่องนอน จะถูกใช้ให้ส่งกำลังไปในแนวดิ่ง สำหรับอัตราทดจะเท่ากับ 8

เมื่อต่อชุดเพื่องทั้ง 2 ชุดเข้าด้วยกันจะมีลักษณะดังนี้



### 3) เครื่องวัดแรงบิด

การวัดแรงบิดจะทำได้โดยอาศัยหลักการง่ายๆ โดยใช้อุปกรณ์ดังนี้

1. Thrust Ball Bearing
2. ตาช้างสปริง

เมื่อหาค่าแรงที่บิดไปได้แล้ว ก็สามารถนำไปหาค่าสิ่งที่ต้องการได้ตามทฤษฎีที่ได้กล่าวมาแล้ว

## บทที่ 4

## การทดลองและผลการทดลอง

## วิธีการทดลอง

จัดแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การศึกษาถึงรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นจากชนิดของใบกวน
2. การศึกษาหาความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์และเลขกำลังที่ต้องใช้ในการ

กวนของเหลว

สารตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทดลอง คือ น้ำสี, น้ำมันพืช, น้ำเชื่อม, น้ำ  
แป้ง โดยสารตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ในถังมาตรฐาน จะใช้ปริมาณ 5.44 ลิตร

ใบพัดที่นำมาใช้ในการศึกษามีทั้งหมด 8 แบบ คือ

1. แบบ Standard disk Turbine
2. แบบ Curve blade mounted disk turbine
3. แบบ Vaned disk turbine
4. แบบ Fan turbine
5. แบบ Curved fan turbine
6. แบบ Pitch fan turbine
7. แบบ Modified turbine
8. แบบ Marine type

## 4.1 การหารูปแบบการไหลจากชนิดของใบกวน

ทำการทดลองหาลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นของใบกวนทั้ง 8 แบบ สังเกต  
การเกิดหลุมน้ำวน ความเร็วรอบที่เกิดหลุมน้ำวน ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้น้ำสีเป็นสารตัวอย่างในการทดลอง ได้ผลการทดลองดังนี้คือ

### 1. แบบ Disk Turbine

แบบการไหล จะเกิดการไหลในแนวรัศมี

ไม่ติดับเฟิล การไหลแนวเส้นรอบวงจะเกิดขึ้น เกิดการไหลวน เมื่อรอบการหมุนสูงขึ้น จะเกิดหลumnน้ำวน (Vortex)

ติดับเฟิล จะไม่เกิดหลumnน้ำวน การไหลจะเป็นไปอย่างทั่วทั้งถึง ดังแสดงในรูป 4.1

### 2. แบบ Curve blade mounted disk turbine

แบบการไหล จะเกิดการไหลในแนวรัศมี

ไม่ติดับเฟิล การไหลแนวเส้นรอบวงจะทำให้เกิดหลumnน้ำวนขึ้น

ติดับเฟิล จะไม่เกิดหลumnน้ำวน ดังแสดงในรูปที่ 4.2

### 3. แบบ Vaned disk turbine

แบบการไหล จะเกิดแนวการไหลในแนวรัศมี และแยกออกไปหาข้างถึง

ไม่ติดับเฟิล หลumnน้ำวนจะเกิดขึ้น ดังแสดงในรูป 4.3

ติดับเฟิล จะไม่เกิดหลumnน้ำวน ดังแสดงในรูป 4.4

### 4. แบบ Fan turbine

แบบการไหล จะเกิดการไหลในแนวแกนและแนวรัศมี

ไม่ติดับเฟิล เกิดหลumnน้ำวนอย่างมาก ดังแสดงในรูป 4.5

ติดับเฟิล เกิดหลumnน้ำวนน้อยมาก ดังแสดงในรูป 4.6

### 5. แบบ Curved fan turbine

แบบการไหล เกิดการไหลในแนวแกนและแนวรัศมี

ไม่ติดับเฟิล เกิดหลumnน้ำวนอย่างมาก ดังแสดงในรูป 4.7

ติดับเฟิล ไม่เกิดหลumnน้ำวนเลย ดังแสดงในรูป 4.8

### 6. แบบ Pitch fan turbine

แบบการไหล เกิดการไหลในแนวแกนจากบนไปล่าง ล่างไปบน

ไม่ติดับเฟิล เกิดหลumnน้ำวน

ติดปัฟเฟิล ไม่เกิดหลุมน้ำวน

#### 7. แบบ Modified turbine

แบบการไหล เกิดการไหลในแนวแกนและแนวรัศมี

ไม่ติดปัฟเฟิล เกิดหลุมน้ำวน ดังแสดงในรูป 4.9

ติดปัฟเฟิล ไม่เกิดหลุมน้ำวน ดังแสดงในรูป 4.10

#### 8. แบบ Marine type

แบบการไหล เกิดการไหลในแนวแกน

ไม่ติดปัฟเฟิล เกิดหลุมน้ำวน ดังแสดงในรูป 4.11

ติดปัฟเฟิล ไม่เกิดหลุมน้ำวน ดังแสดงในรูป 4.12

ตารางผนวก ก. แสดงความสัมพันธ์ของใบกวนกับการนำไปใช้งาน

ตารางผนวก ข. แสดงความสัมพันธ์ของใบกวนกับความเร็วรอบที่เกิดหลุมน้ำวน

### 4.2 การหาความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์และเลขกำลัง

การทดลองนี้วัดหาความเร็วรอบต่างๆที่ใช้ในการกวนกับแรงบิดที่เกิดขึ้น

โดยค่าแรงบิดที่อ่านได้ สามารถนำไปคำนวณหาค่ากำลังที่ใช้ในการกวนได้จากสมการ

$$P = F \cdot D \cdot (\pi/30)(n)$$

ค่า  $F$  = ค่าแรงบิดที่อ่านได้ ( นิวตัน )

$D$  = เป็นความยาวของแกน ( เมตร )

$n$  = ความเร็วรอบ ( รอบต่อวินาที )

$P$  = กำลังที่ใช้ในการกวน ( วัตต์ )

จากค่า  $P$  ที่ได้นำไปหาเลขกำลังได้ และหาเลขเรย์โนลด์ ได้จาก

$$N_D = Pg_c / \rho N^3 D_u^5$$

$$N_{Re} = \rho N D_u^2 / \mu$$

ถ้าเลขเรย์โนลด์มากกว่า 300 และไม่มีแผ่นกั้น (baffle) เลขกำลังจะหาได้จาก

$$N_D = (Pg_c / \rho N^3 D_u^5) (1/N_{Fr})^m$$

โดยที่  $N_{Fr} = N^2 D_u / g$

$$m = (a - \log N_{Re}) / (b)$$

ดังนั้นในการทดลองจะต้องหาค่าความหนืด ( $\mu$ ) และความหนาแน่น ( $\rho$ )

ของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองด้วย (วิธีการที่ใช้หาค่าความหนืดและความหนาแน่นแสดง ในภาคผนวก หน้า 77)

ตัวอย่างที่นำมาใช้ในการศึกษา

1. น้ำเชื่อม ที่ 32.4 Brix ค่า  $\rho = 1117.35 \text{ Kg/m}^3$

$$\mu = 0.0187 \text{ pa.s}$$

ที่ 42.2 Brix ค่า  $\rho = 1177.1 \text{ Kg/m}^3$

$$\mu = 0.0262 \text{ pa.s}$$

ที่ 32.4 Brix ค่า  $\rho = 1229.9 \text{ Kg/m}^3$

$$\mu = 0.0442 \text{ pa.s}$$

2. น้ำมันพืช  $\rho = 879 \text{ Kg/m}^3$

$$\mu = 0.075 \text{ pa.s}$$

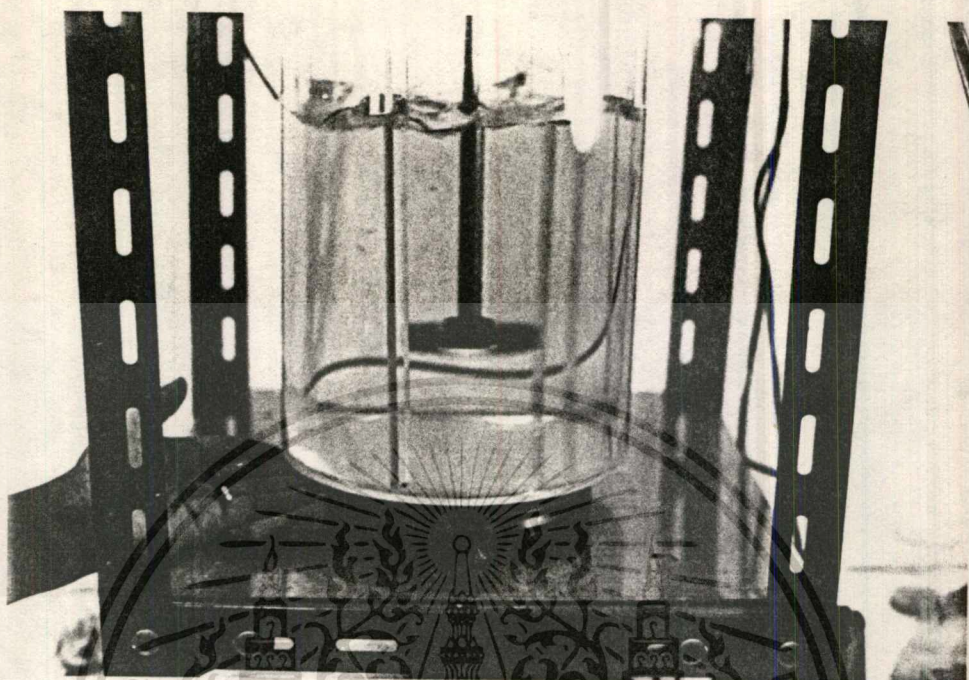
3. น้ำแป้ง 3% (เป็นเจล ลักษณะ homogeneous)

$$\rho = 1015.6 \text{ Kg/m}^3$$

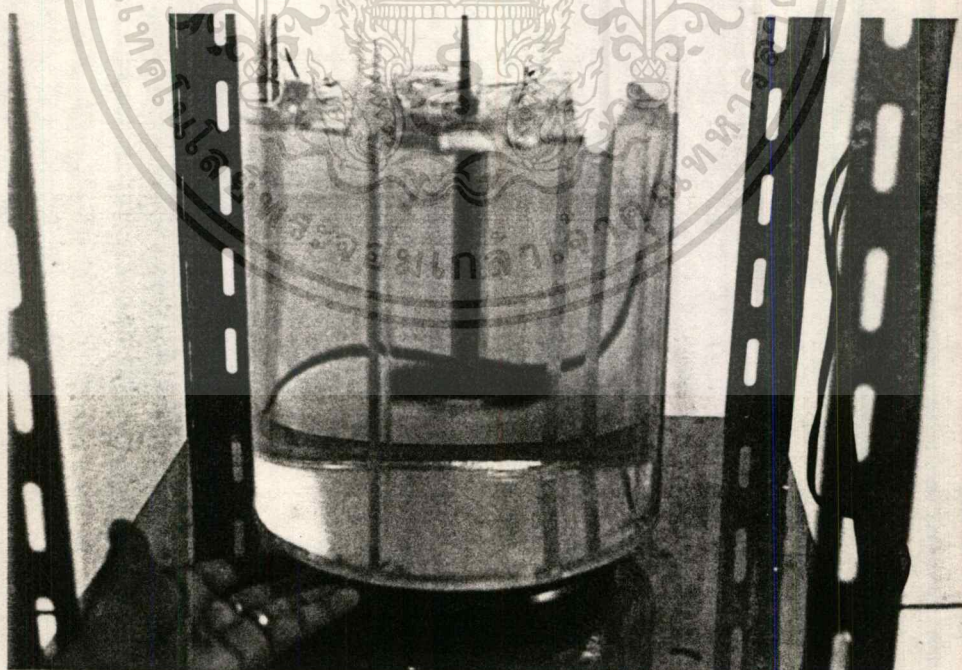
$$\mu = 0.11 \text{ pa.s}$$

ข้อมูลจากการทดลองและการคำนวณหาค่าเลขเรย์โนลด์และเลขกำลัง

แสดงใน ตารางผนวก ค.

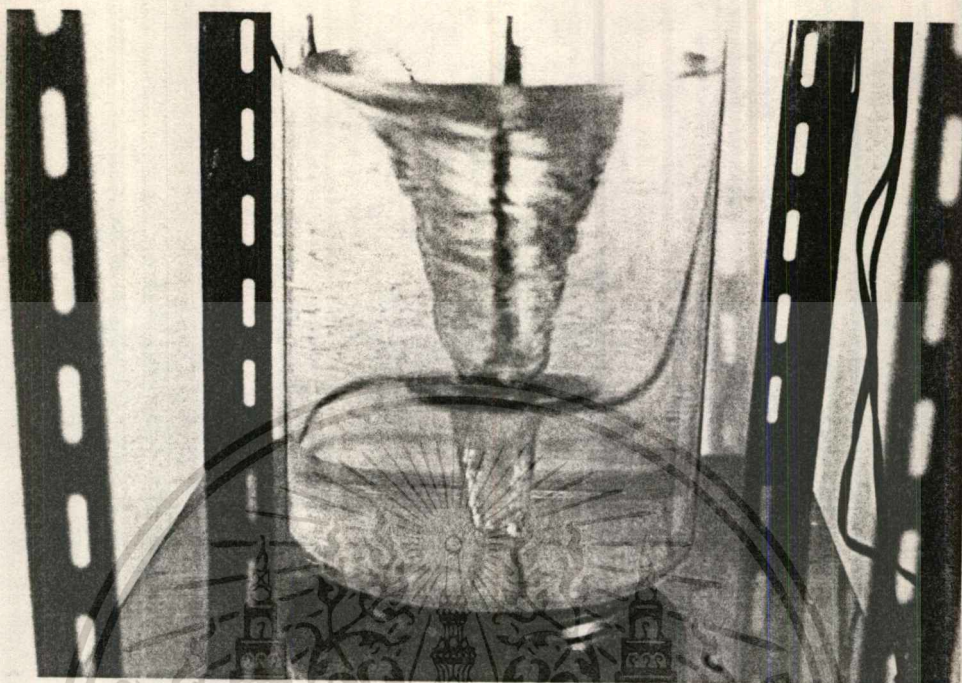


รูปที่ 4-1 แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบมี baffle ที่ 670 rpm

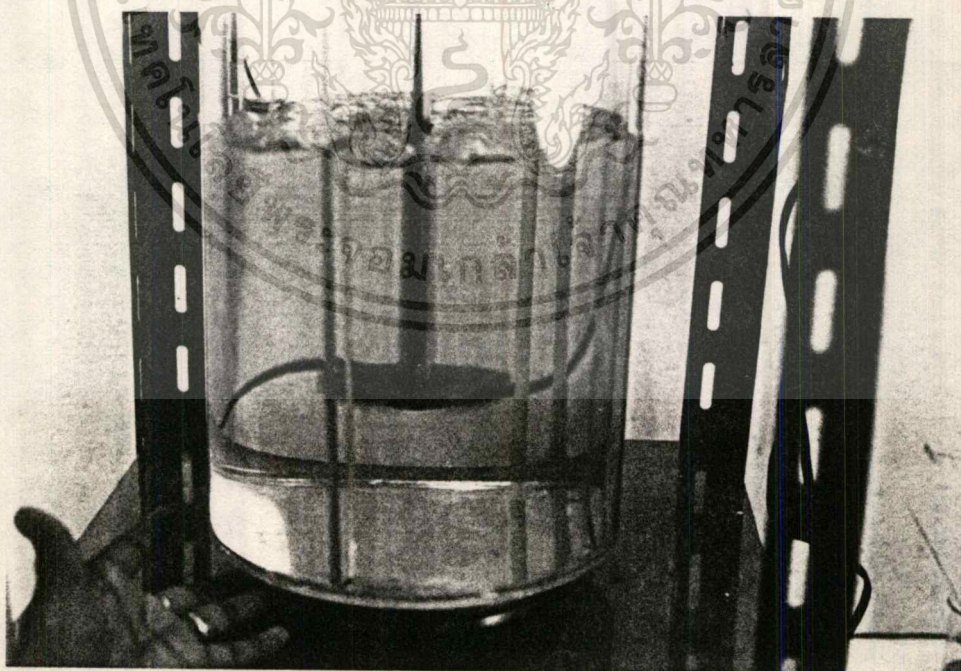


รูปที่ 4-2 แสดงการหมุนของ Curved disk turbine แบบมี baffle ที่ 740 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

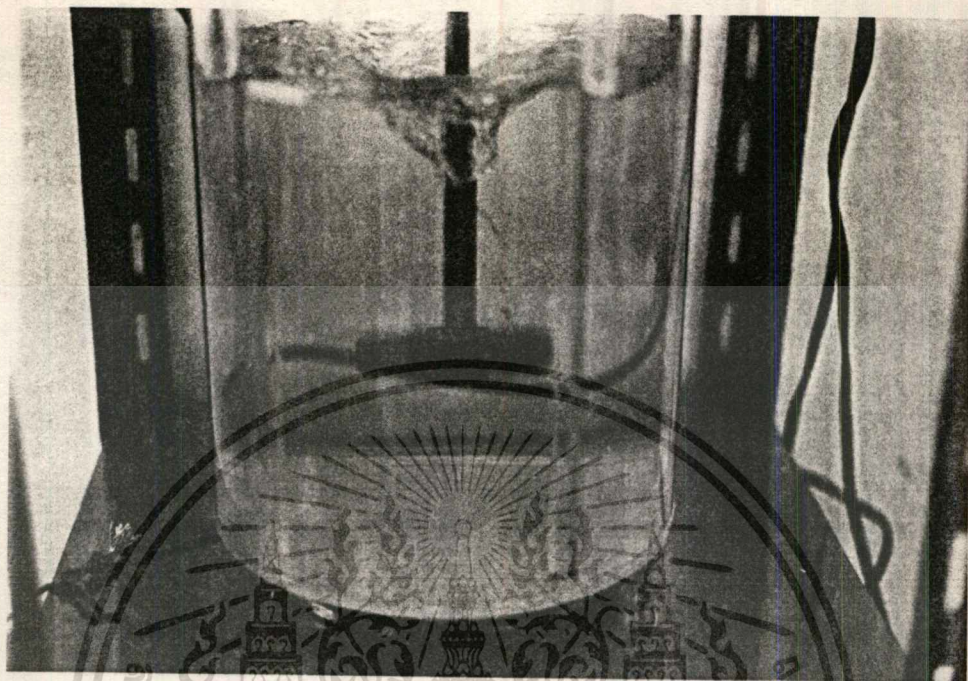


รูปที่ 4-3 แสดงการหมุนของ Vane disk turbine แบบไม่มี baffle ที่ 758 rpm



รูปที่ 4-4 แสดงการหมุนของ Vane disk turbine แบบมี baffle ที่ 760 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

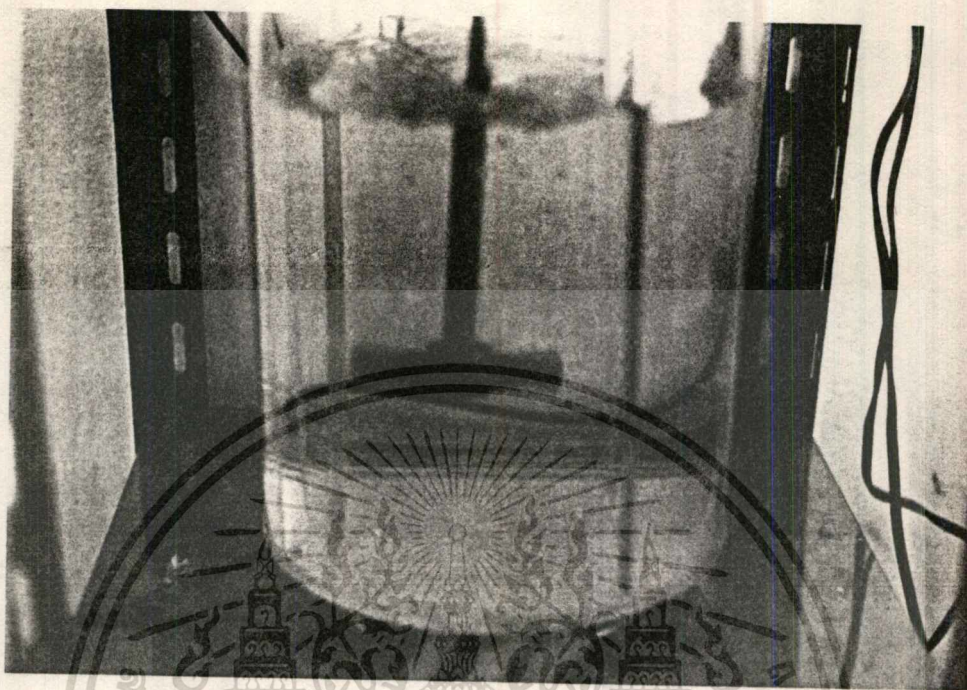


รูปที่ 4-5 แสดงการหมุนของ Fan turbine แบบไม่มี baffle



รูปที่ 4-6 แสดงการหมุนของ Fan turbine แบบมี baffle ที่ 693 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

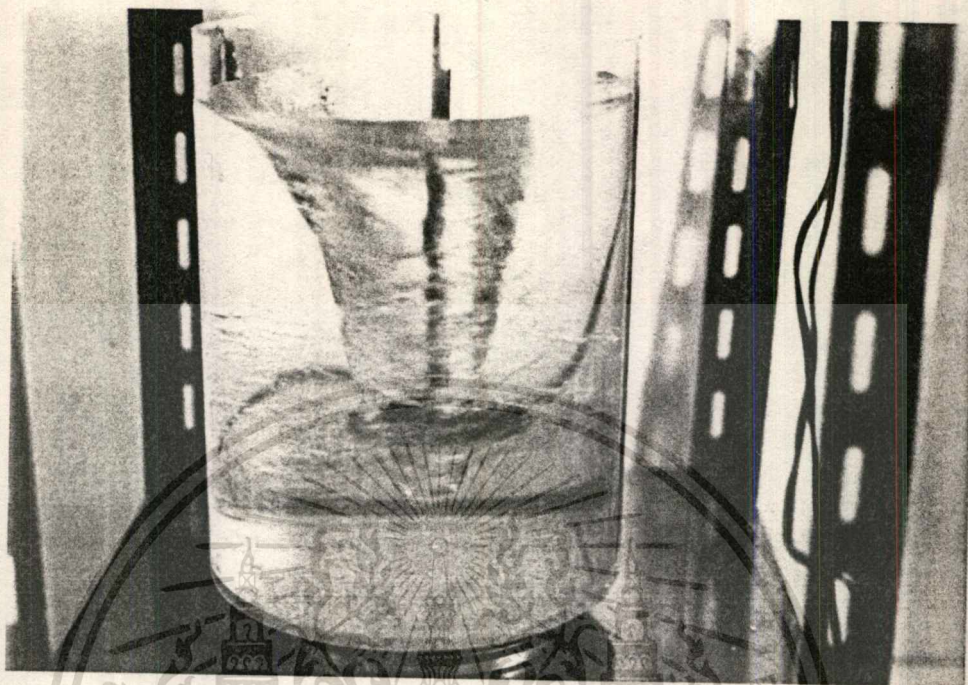


รูปที่ 4-7 แสดงการหมุนของ Curve fan turbine แบบไม่มี baffle ที่ 734 rpm

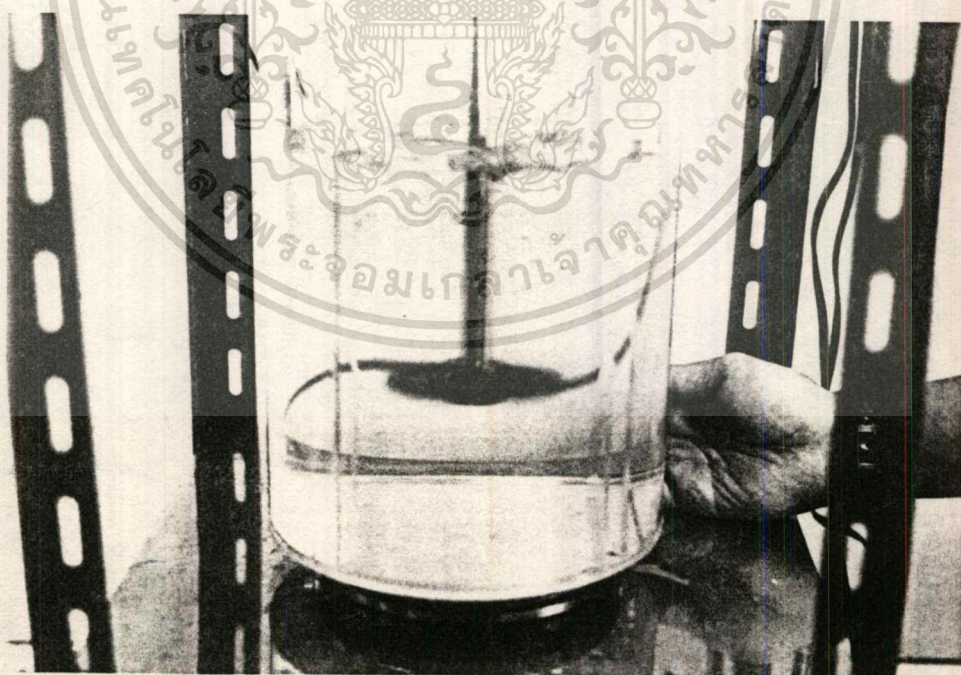


รูปที่ 4-8 แสดงการหมุนของ Curve fan turbine แบบมี baffle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

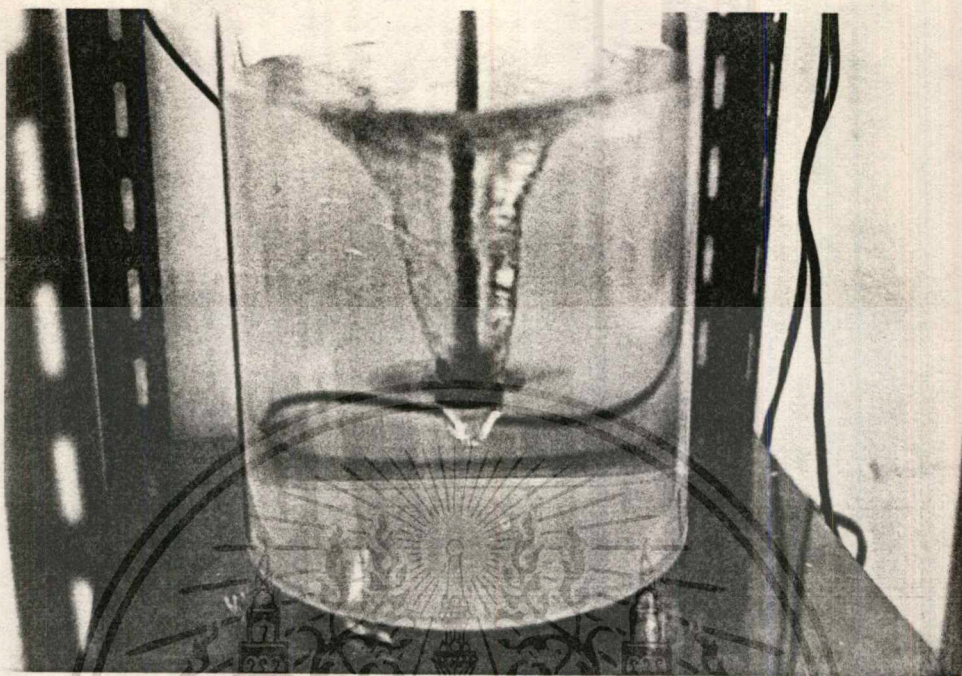


รูปที่ 4-9 แสดงการหมุนของ Modified turbine แบบไม่มี baffle ที่ 685 rpm

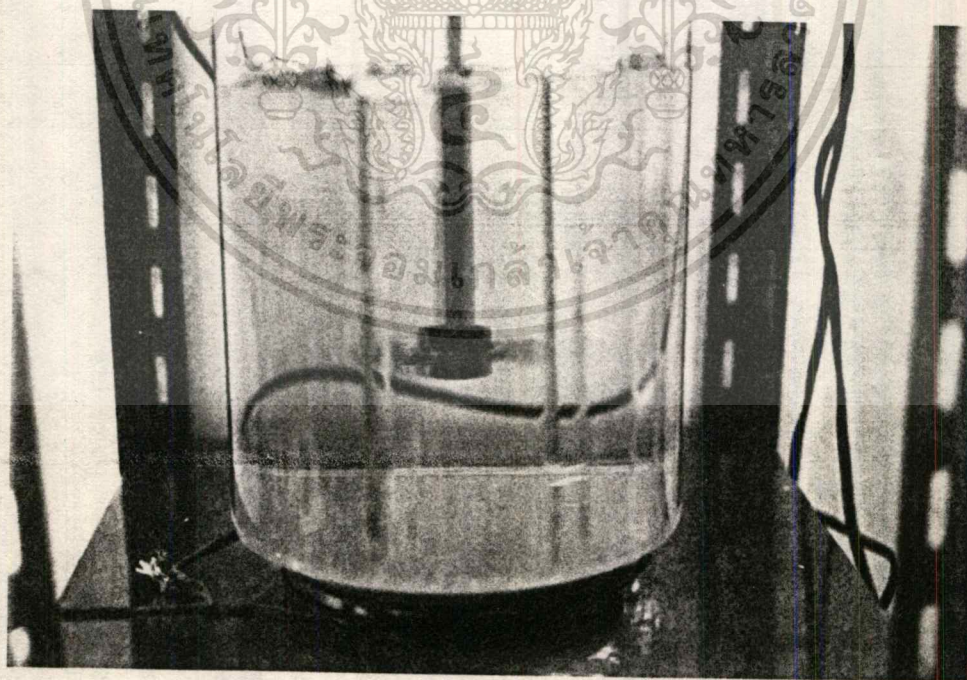


รูปที่ 4-10 แสดงการหมุนของ Modified turbine แบบมี baffle ที่ 682 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-11 แสดงการหมุนของ Marine type แบบไม่มี baffle ที่ 840 rpm

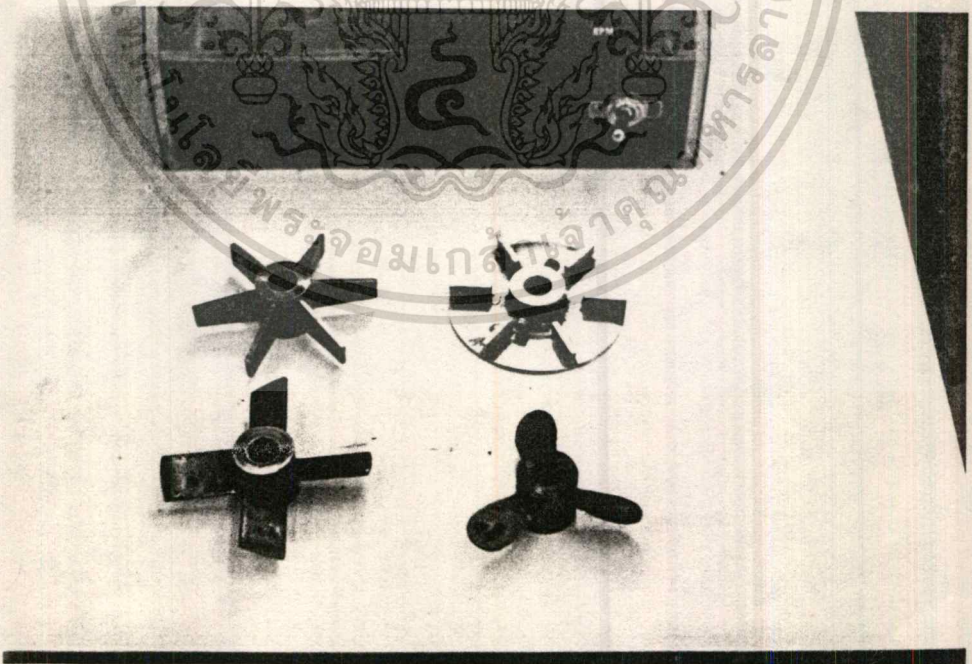


รูปที่ 4-12 แสดงการหมุนของ Marine type แบบมี baffle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

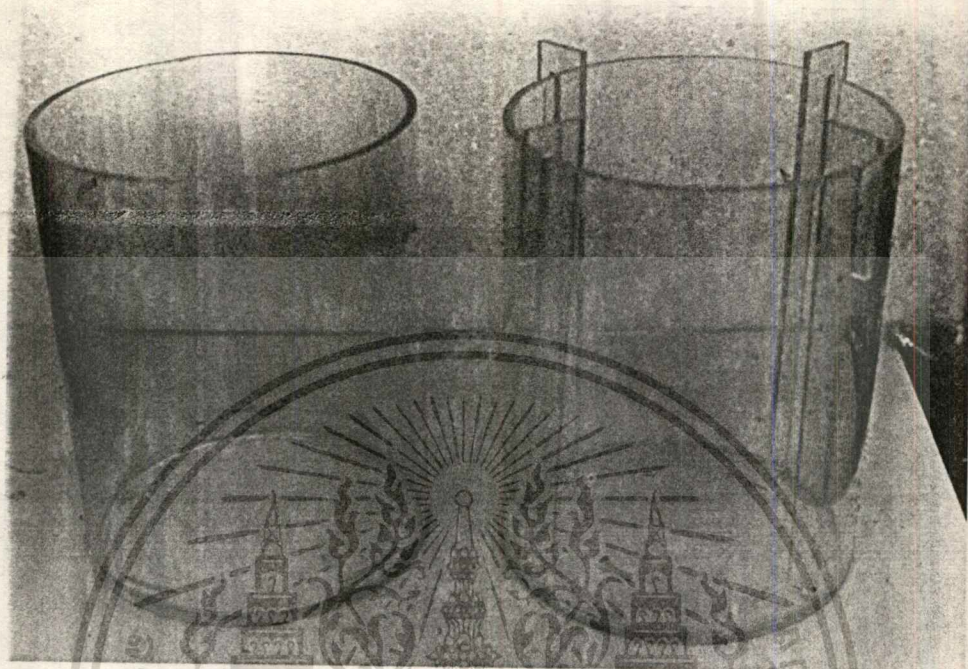


รูปที่ 4-13 แสดงแบบของใบกวนที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4-14 แสดงแบบของใบกวนที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-15 แสดงถังกวนที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4-16 แสดงเครื่องวัดความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

## บทวิจารณ์และสรุป

## 5.1 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง

5.1.1 จากการศึกษารูปแบบการไหลของผลิตภัณฑ์ เมื่อใช้ใบกวนทั้ง 8 แบบ จะพบว่ารูปแบบการไหลจะแตกต่างกันไปตามชนิดของใบกวน ดังแสดงในตารางผนวก ก. ดังนั้นการนำไปใช้งานจึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการในการกวนผสม เช่น

1. แบบ Disk turbine การไหลจะเกิดในแนวรัศมีเป็นหลัก ซึ่งจะเกิดการไหลในแนวเส้นสัมผัสด้วย อีกทั้งยังเกิดการไหลในแนวแกนอีกด้วย จึงสามารถนำไปใช้งานได้ทั่วไป ส่วนมากมักจะเป็นของเหลวกับของเหลวที่มีความหนาแน่นไม่ต่างกันมากนัก

2. แบบ Marine type จะทำให้เกิดการไหลในแนวแกนอย่างมาก จึงนิยมใช้กับงานที่มีความต้องการการกวนลอยของสาร

การติดตั้งบันเฟิลเข้าไป จะช่วยให้ไม่เกิดกระแสไหลวนและหลุมน้ำวน ทำให้การผสมกันเป็นไปอย่างทั่วถึง ไม่เกิดการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ สำหรับการเกิดหลุมน้ำวนนั้นจะแตกต่างกันไปตามชนิดของใบกวน โดยใบกวนที่เกิดการไหลในรัศมีมากจะมีผลให้เกิดหลุมน้ำวนสูงกว่าแบบที่มีการไหลในแนวรัศมีน้อย ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองในตารางผนวกที่ ข.1 ในผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน เมื่อคู่ความเร็วรอบเดียวกันการเกิดหลุมน้ำวนจะมากในใบกวนแบบ Fan turbine > Disk turbine > Marine type

ค่าความหนืดก็มีผลต่อการเกิดหลุมน้ำวน ดังแสดงในตารางผนวกที่ ข.1 และ ข.2 ที่ความเร็วรอบเดียวกันและผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูงขึ้น จะเกิดหลุมน้ำวนน้อยลง ตรงกันข้ามถ้าความหนืดลดลงการเกิดหลุมน้ำวนจะเพิ่มขึ้น ยกเว้น ในตารางผนวก ข.1 ใบกวนแบบ Vaned disk turbine จะเกิดหลุมน้ำวนในน้ำแป้ง ก่อนในน้ำมันพืช ซึ่งไม่ตรงกับที่สรุปไว้ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะค่าความเร็วรอบที่อ่านได้ผิดพลาดไป เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ค่าความเร็วรอบไม่ค่อยจะคงที่

5.1.2 การศึกษาหาความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์และเลขกำลัง ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งแสดงค่าของ ความเร็วรอบและแรงบิดที่ทดลองได้ นำไปคำนวณหาเลขเรย์โนลด์และเลขกำลัง เมื่อนำค่าทั้งสองไป plot ในกราฟ log-log แล้วนำไปเทียบกับกราฟมาตรฐานในรูปที่ 2-15 จะพบว่ากราฟที่ได้ แตกต่างจากกราฟมาตรฐาน ซึ่งอาจจะสรุปได้ว่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้น มีสาเหตุมาจาก

1. ค่าแรงบิดที่ได้ไม่ละเอียดพอ
2. ความเร็วรอบที่ใช้ในการทดลองที่ค่าอยู่ในช่วง 200 ถึง 1000 rpm ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง และไม่ค่อยคงที่ในช่วงความเร็วรอบต่ำทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่ค่อยถูกต้องนัก ซึ่งค่าความเร็วรอบที่เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเลขกำลังอย่างมาก  $[ N_p = \rho g_c / \rho N^3 D^5 ]$  ดังนั้นค่าความเร็วรอบที่อ่านได้จะต้องให้มีความเที่ยงตรงให้มากที่สุด
3. ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีเป็นจำนวนน้อย ทำให้กราฟที่ plot ได้มีค่าเพียงช่วงสั้นๆ

## 5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง

- 5.2.1 ขนาดของถังจะต้องใช้ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ปริมาตร 5.44 ลิตรในการทดลอง ซึ่งมีปริมาณสูง การเตรียมสารจะค่อนข้างยุ่งยากและสิ้นเปลืองมาก
- 5.2.2 ชุดของมอเตอร์ที่ใช้ความเร็วรอบไม่คงที่ในช่วงรอบต่ำ เนื่องจากเป็นมอเตอร์กระแส AC
- 5.2.3 คำนวณหามอเตอร์ที่มีผลต่อค่า  $N_p$  และ  $N_{\mu}$  คือ  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $N$  (rpm) ต้องการเครื่องมือวัดที่ได้ค่าถูกต้องเที่ยงตรง เพื่อให้ค่า  $N_p$  และ  $N_{\mu}$  ถูกต้องยิ่งขึ้น

### 5.3 ข้อเสนอแนะในการปรับปรุง

5.3.1 ถ้าต้องการลดความยุ่งยากและความสับสนในการเตรียมสารที่ต้องใช้ในการทดลอง อาจจะลดขนาดของถังที่ใช้ลง แต่จะต้องลดขนาดของไบอานตามด้วย

5.3.2 อาจมีการให้ความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ในการทดลอง

5.3.3 มอเตอร์ที่ใช้ควรเปลี่ยนเป็นระบบ DC และสามารถปรับความเร็วรอบได้ละเอียด

5.3.4 เครื่องมือที่ใช้ควรปรับปรุงให้ดีขึ้น หรือเลือกใช้ให้วัดค่าได้ละเอียดยิ่งขึ้น

## ภาคผนวก

ภาคผนวกนี้ แสดงรูปที่ได้จากการทดลอง โดยจัดแบ่งออกเป็น

รูปที่ 1-18 แสดงการกวนของน้ำมันพืช

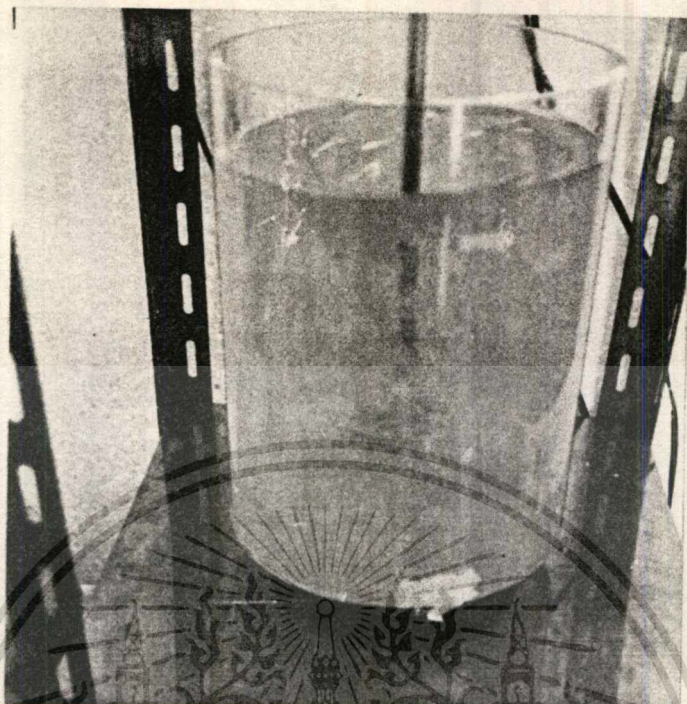
รูปที่ 19-23 แสดงการกวนของน้ำเชื่อม (32.4 %)

รูปที่ 24-27 แสดงการกวนของน้ำเชื่อม (42.2 %)

รูปที่ 28-30 แสดงการกวนของน้ำเชื่อม (52.2 %)

รวมทั้งตารางข้อมูลแสดงผลการทดลอง และการนำไปใช้งาน ในตารางผนวก

ที่ ก.- ค. นอกจากนี้ ในตอนท้ายสุดจะเป็นรูปเขียนแบบของชุดเครื่องผสมและใบกวนทั้ง 8 แบบ

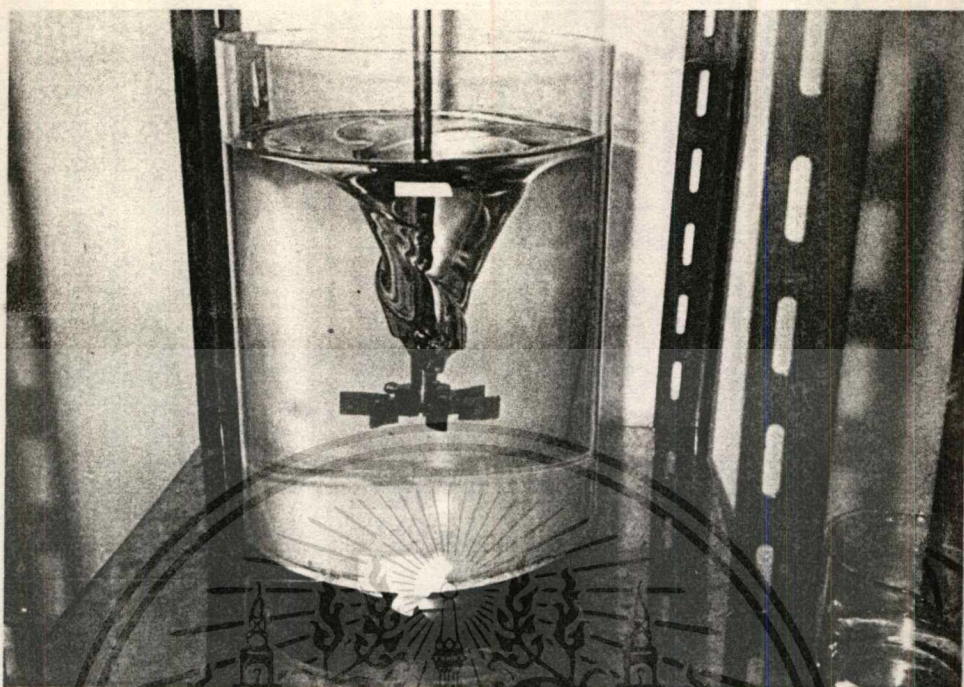


รูปที่ 1 แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบไม่มี baffle

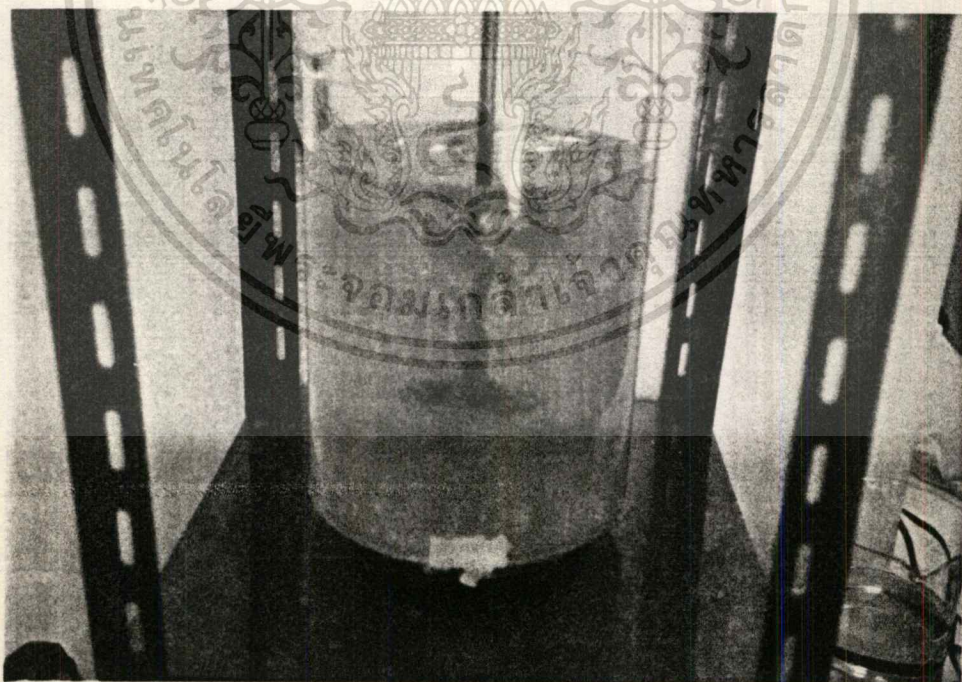


รูปที่ 2 แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบมี baffle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

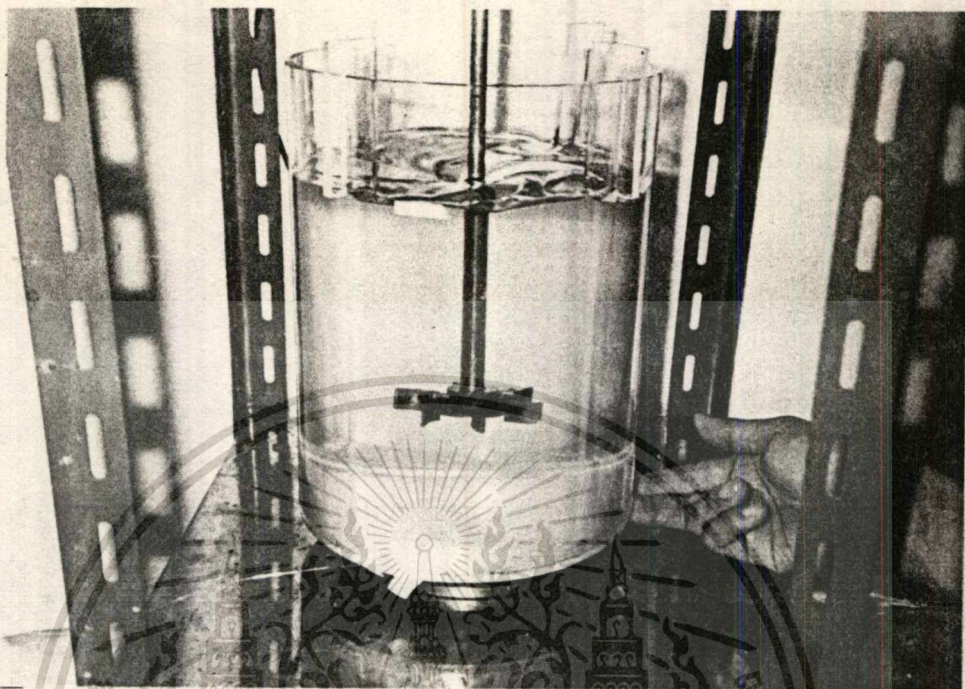


รูปที่ 3 แสดงการหมุนของ Curved disk turbine แบบไม่มี baffle

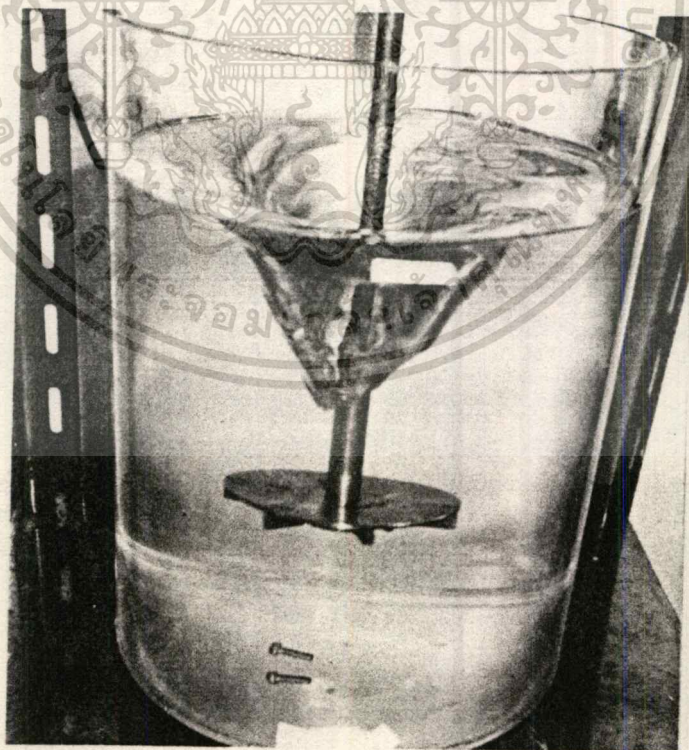


รูปที่ 4 แสดงการหมุนของ Curved disk turbine แบบไม่มี baffle  
ที่ความเร็วรอบสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

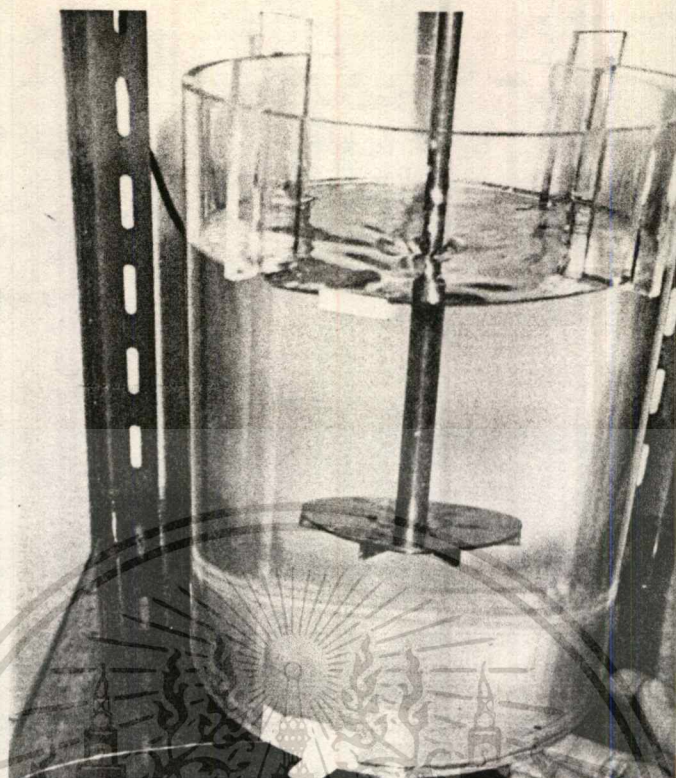


รูปที่ 5 แสดงการหมุนของ Curved disk turbine แบบมี baffle ที่ 940 rpm

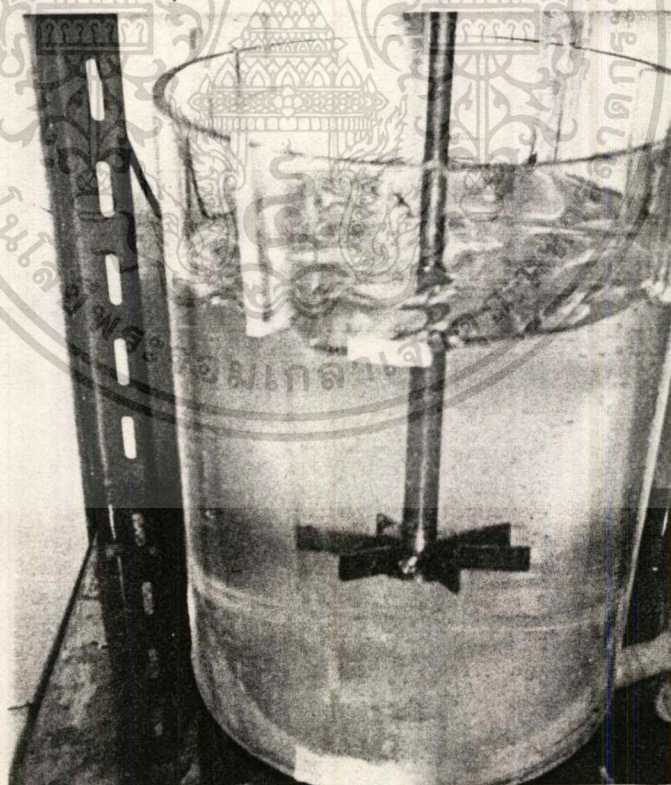


รูปที่ 6 แสดงการหมุนของ Vane disk turbine แบบไม่มี baffle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



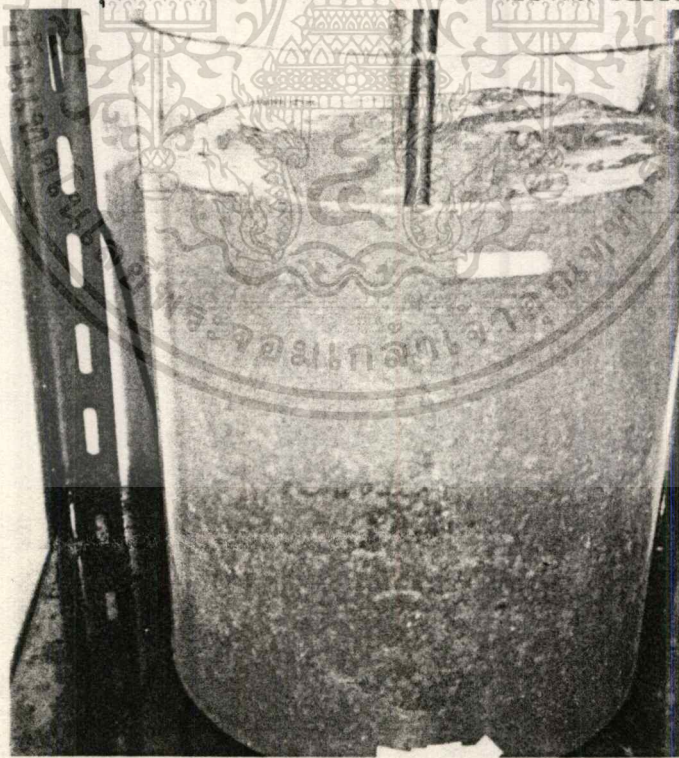
รูปที่ 7 แสดงการหมุนของ Vane disk turbine แบบมี baffle



รูปที่ 8 แสดงการหมุนของ Fan turbine แบบไม่มี baffle ที่ 840 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 9 แสดงการหมุนของ Curved fan turbine แบบไม่มี baffle ที่ 350 rpm



รูปที่ 10 แสดงการหมุนของ Curved fan turbine แบบไม่มี baffle ที่ 870 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

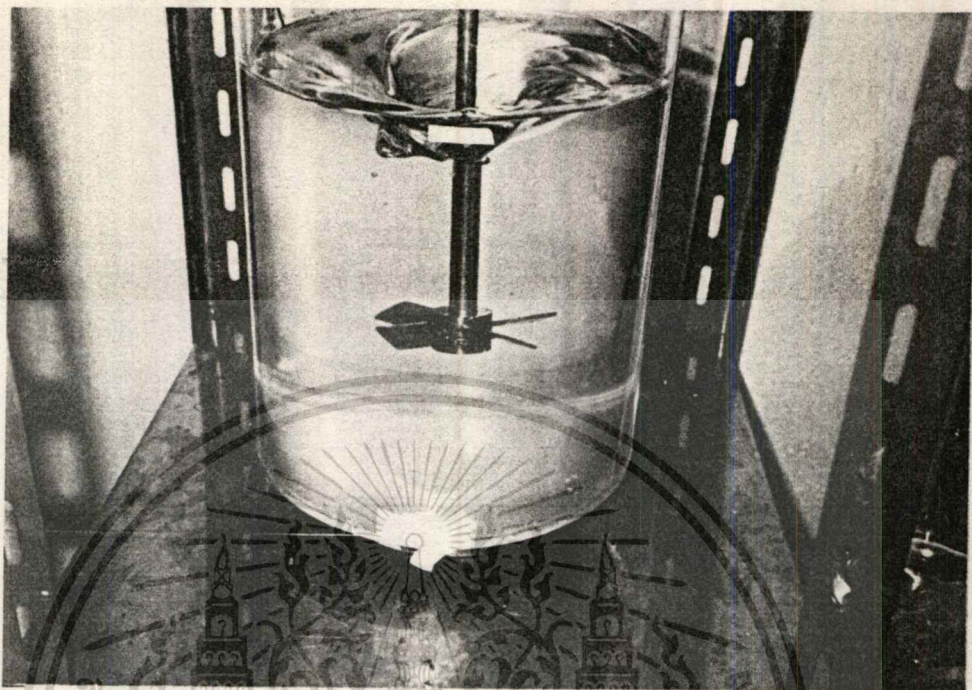


รูปที่ 11 แสดงการหมุนของ Carved fan turbine แบบมี baffle

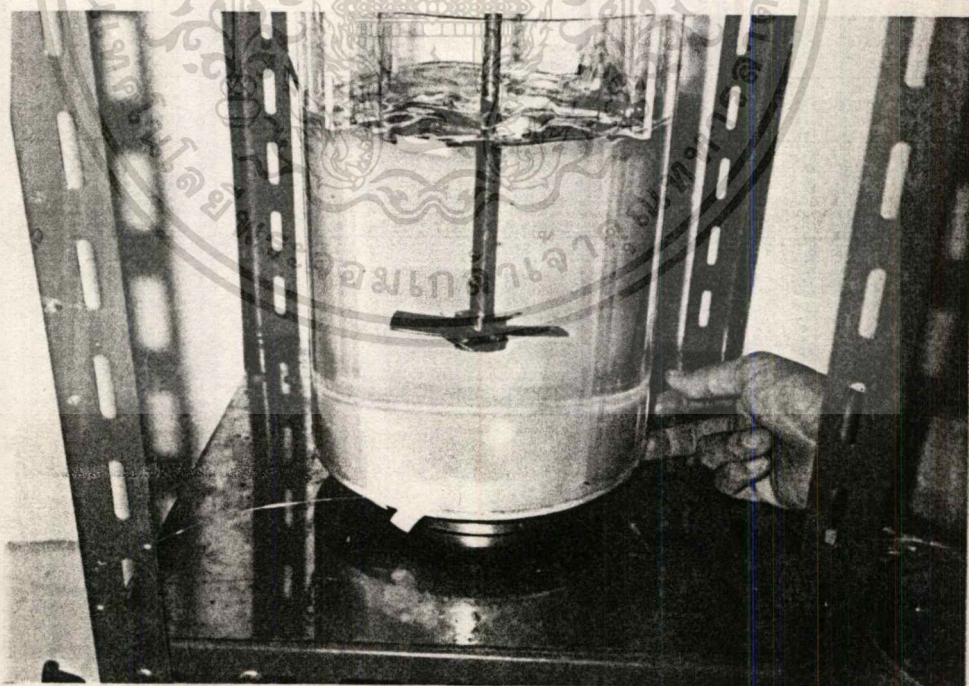


รูปที่ 12 แสดงการหมุนของ Pitch turbine แบบไม่มี baffle ที่ 700 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 แสดงการหมุนของ Pitch turbine แบบไม่มี baffle ที่ 950 rpm

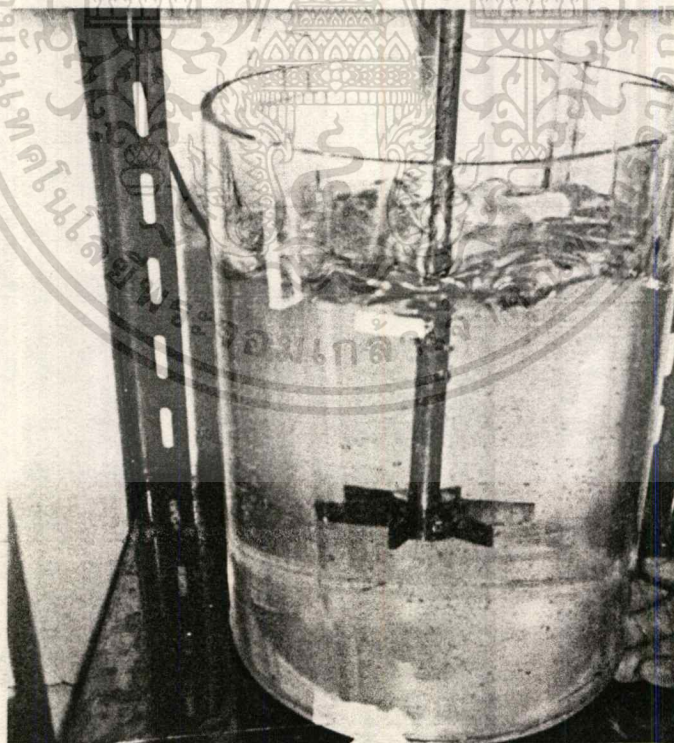


รูปที่ 14 แสดงการหมุนของ Pitch turbine แบบมี baffle ที่ 975 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

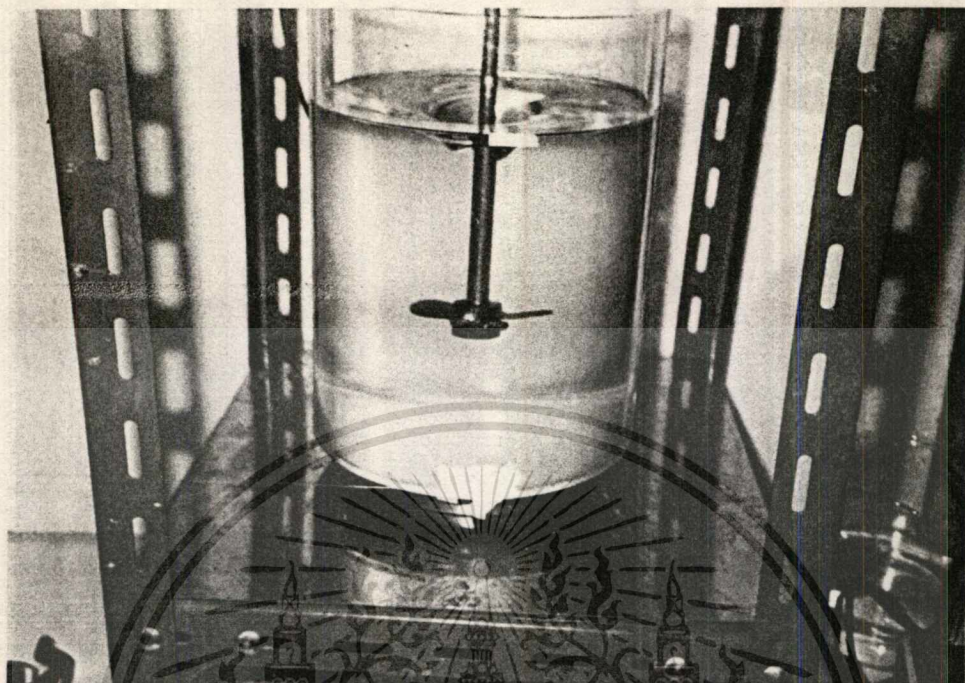


รูปที่ 15 แสดงการหมุนของ Modified turbine แบบไม่มี baffle ที่ 990rpm

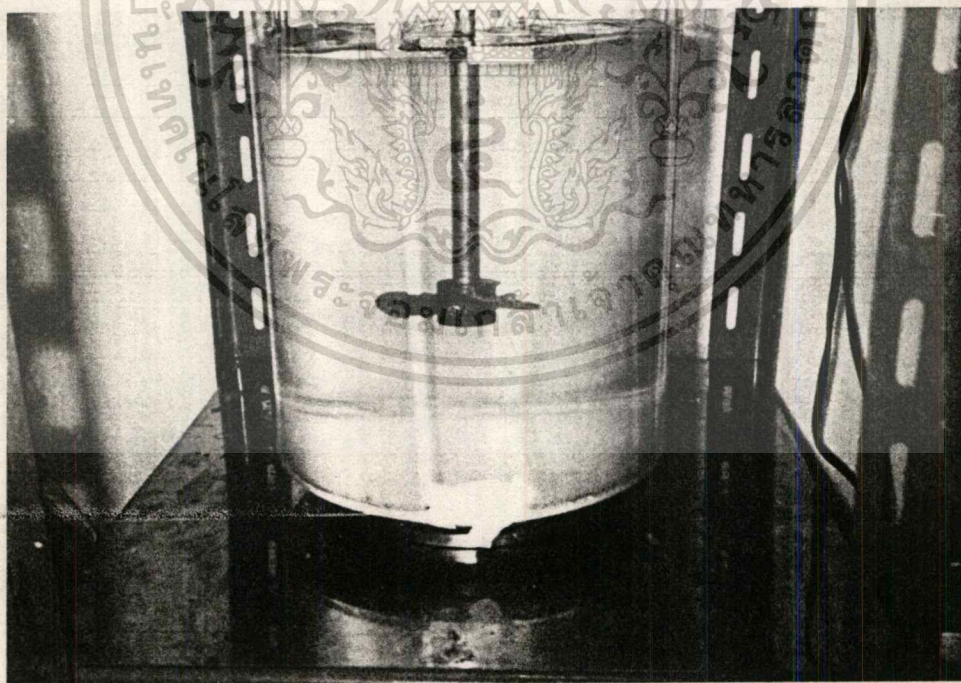


รูปที่ 16 แสดงการหมุนของ Modified turbine แบบมี baffle ที่ 850 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

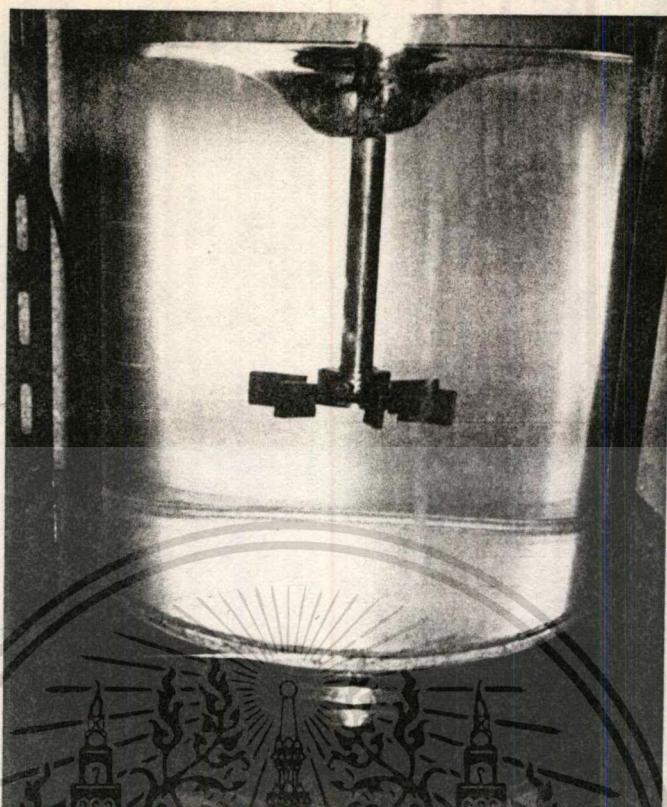


รูปที่ 17 แสดงการหมุนของ Marine type แบบไม่มี baffle

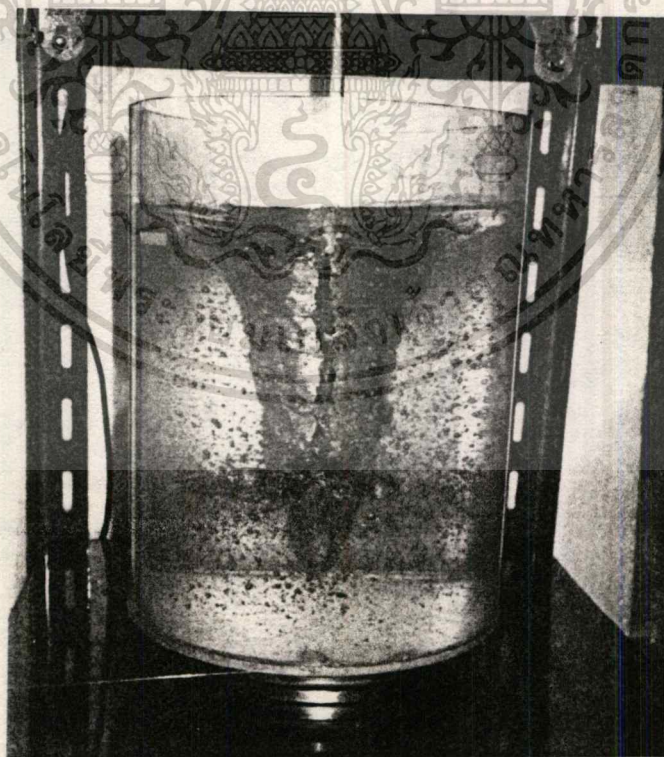


รูปที่ 18 แสดงการหมุนของ Marine type แบบมี baffle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

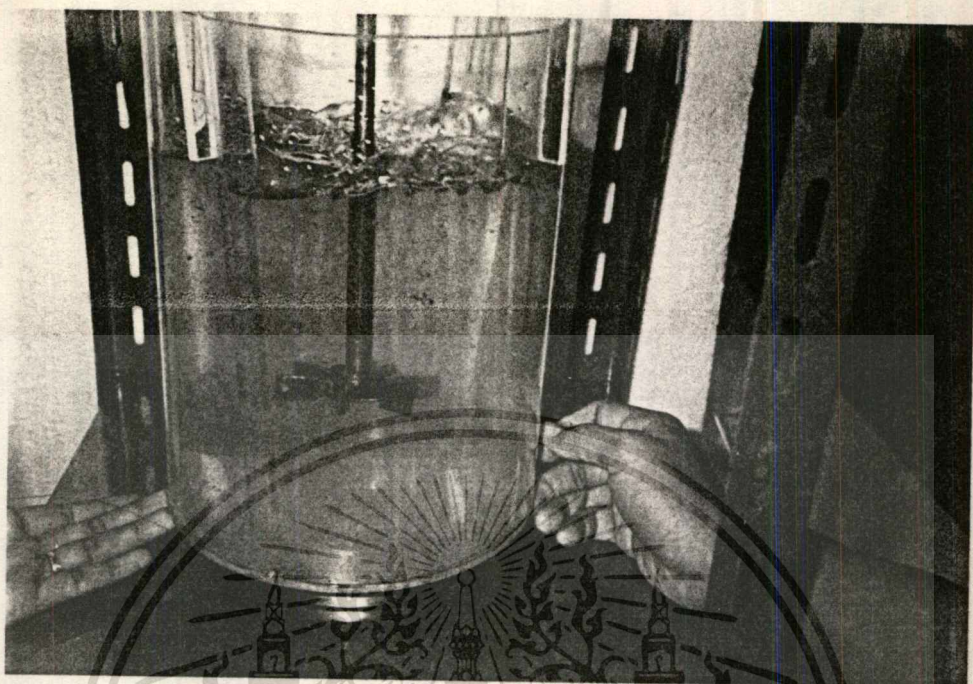


รูปที่ 19 แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบไม่มี baffle ที่ 250 rpm



รูปที่ 20 แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบไม่มี baffle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

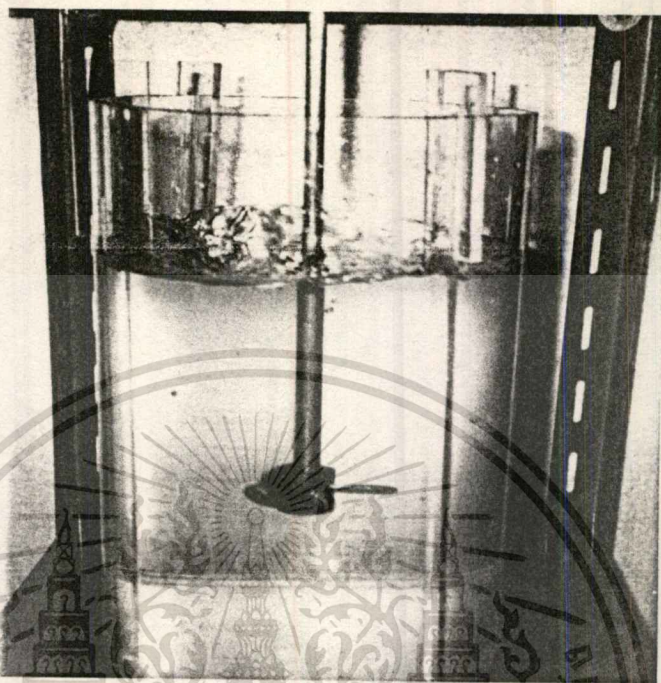


รูปที่ 21 แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบมี baffle

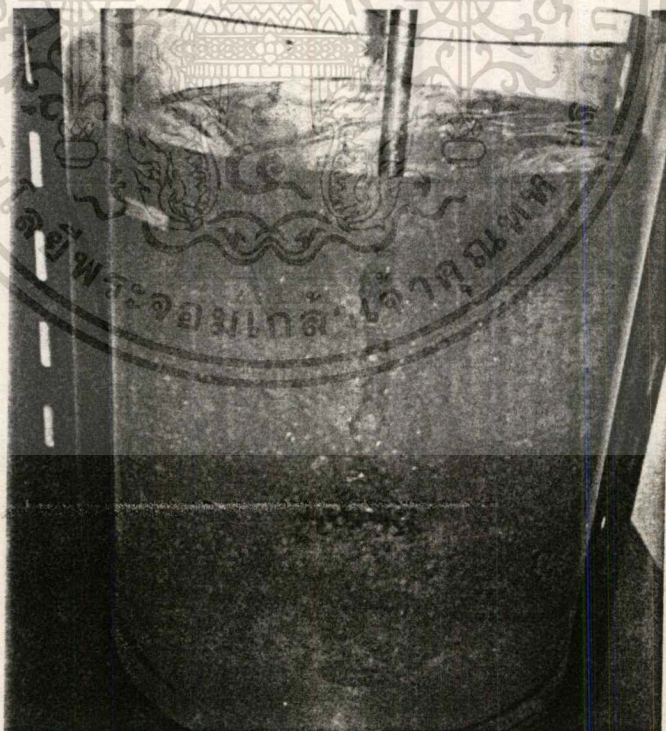


รูปที่ 22 แสดงการหมุนของ Marine type แบบไม่มี baffle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 23 แสดงการหมุนของ Marine type แบบมี baffle



รูปที่ 24 แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบไม่มี baffle ที่ 850 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

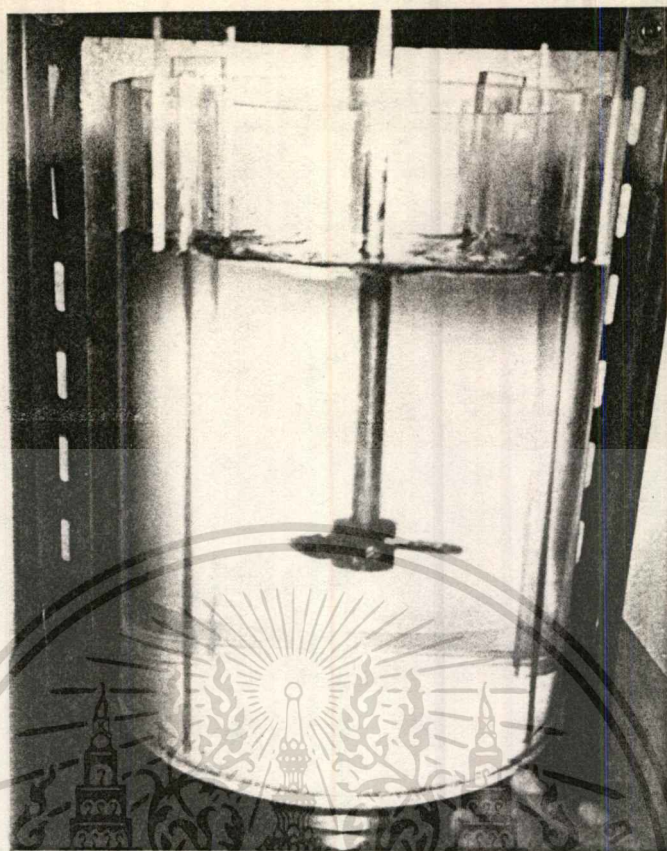


รูปที่ 25 แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบมี baffle ที่ 850 rpm

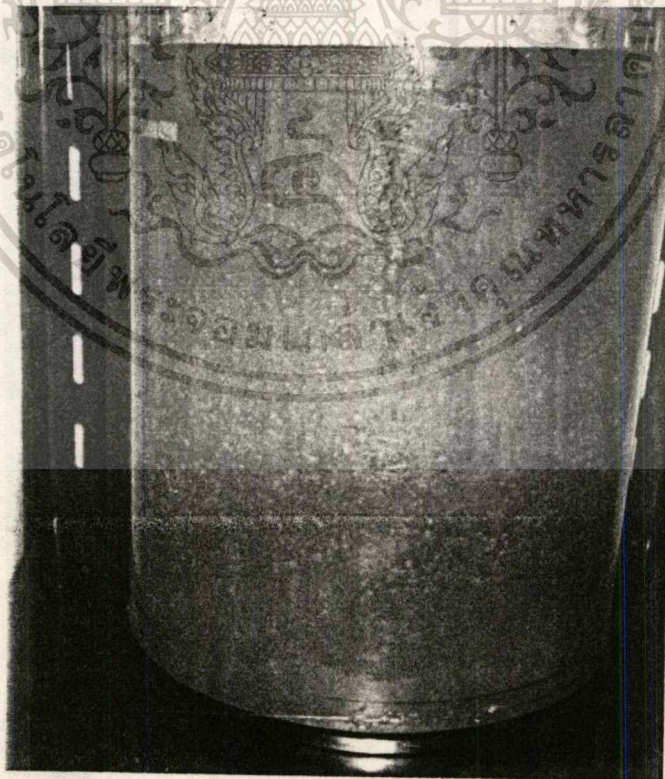


รูปที่ 26 แสดงการหมุนของ Marine type แบบไม่มี baffle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

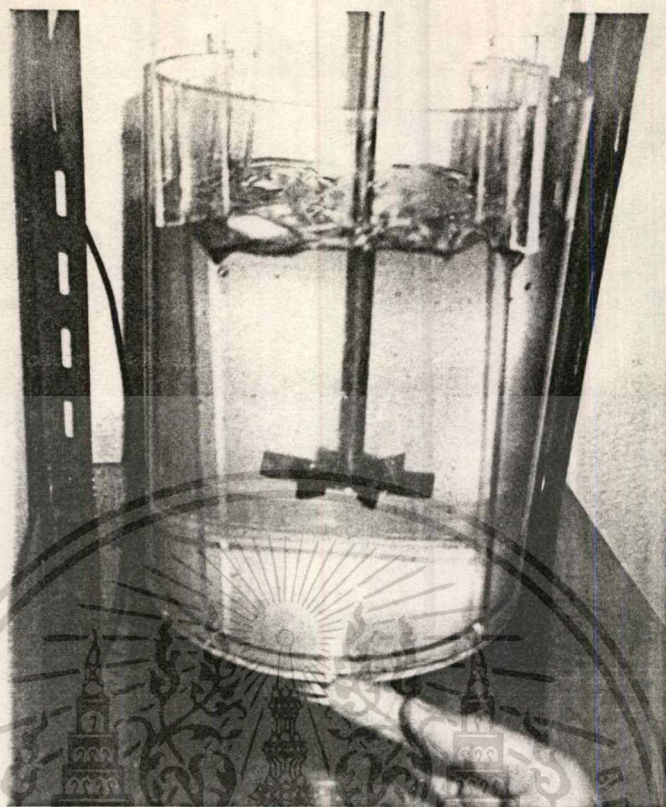


รูปที่ 27 แสดงการหมุนของ Marine type แบบมี baffle

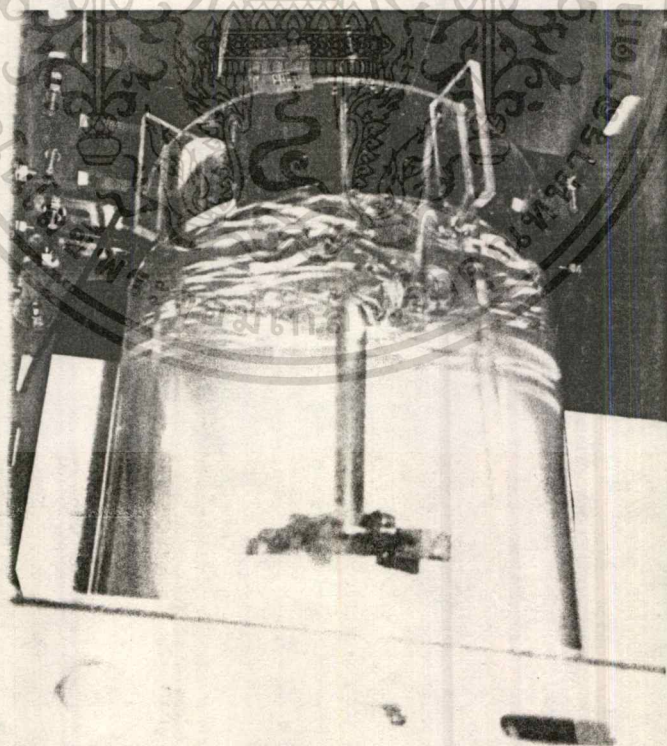


รูปที่ 28 แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบไม่มี baffle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



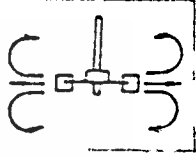
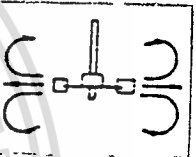
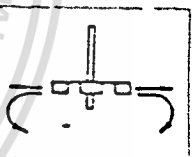
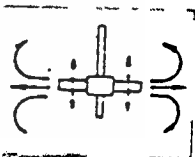
รูปที่ 29 แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบมี baffle ( รูปด้านข้าง )



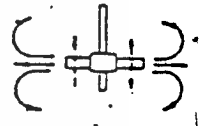
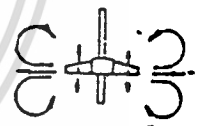
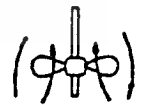
รูปที่ 30 แสดงการหมุนของ Disk turbine แบบมี baffle ( รูปด้านล่าง )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางผนวก ก.

| ชนิดของใบกาน                      | รูปร่าง                                                                             | การใช้งาน                                                                        | รูปแบบการไหล                                                                          |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Disk turbine                      |    | นิยมใช้งานทั่วไป ในช่วงความหนืดต่ำถึงปานกลาง                                     |    |
| Curved blade mounted disk turbine |    | การใช้งานเหมือนแบบ Disk turbine แต่แรงเค้นเฉือนน้อยกว่า และต้องการกำลังต่ำกว่า   |    |
| Vaned disk turbine                |  | ใช้กับงานที่ไม่ต้องการ กวนผิวหน้าของเหลว                                         |  |
| Fan turbine                       |  | เหมาะกับงานความหนืดค่อนข้างสูงแต่ไม่ใช้ความเร็วรอบสูง เพราะจะทำให้เกิดหลุมน้ำมัน |   |

## ตารางผนวก ก. (ต่อ)

| ชนิดของใบกวน       | รูปร่าง                                                                             | การใช้งาน                                                                     | รูปแบบการไหล                                                                          |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Curved fan turbine |    | การใช้งานเหมือนแบบ Fan turbine แต่แรงดันเจือปนน้อยกว่า และต้องการกำลังต่ำกว่า |    |
| Pitch fan turbine  |   | ใช้กับงานที่สารมีความถ่วงจำเพาะสูง                                            |   |
| Modified turbine   |  | สำหรับสารที่มีความหนืดสูง และใช้ความเร็วรอบสูง                                |  |
| Marine type        |  | ใช้งานทั่วไป ตั้งแต่ความหนืดต่ำถึงปานกลาง ใช้งานได้ดีในการกวนแนวตั้ง          |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิธีการวัดค่าความหนืดและความหนาแน่น

1. การหาค่าความหนืดในการทดลองนี้ ใช้เครื่องวัดความหนืดของ Brookfield รุ่น RV โดยทำการเตรียมสารตัวอย่างที่จะวัด ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 800 cc ให้ได้ปริมาณ 800 cc แล้วนำไปเข้าเครื่องวัด โดยใช้ spindle No.1 อ่านค่าที่ได้จากเครื่อง ทำการทดลองใหม่อีก 2-3 ครั้ง นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย หน่วยของความหนืดที่อ่านได้จากเครื่องมีค่าเป็น pa.s
2. การหาค่าความหนาแน่น ทำโดยการเตรียมสารตัวอย่างใส่ลงใน กระบอกตวง ขนาด 100 cc ให้ได้ปริมาณ 100 cc นำไปชั่งหาน้ำหนักที่ได้ แล้วนำไปลบด้วยน้ำหนักของกระบอกตวงเปล่าที่ชั่งหาน้ำหนักได้ ค่าที่ได้ก็จะ เป็นน้ำหนักของสารตัวอย่าง ในปริมาตร 100 cc นำไปแทนค่าหาความหนาแน่นได้ในสูตร

$$\rho = M/V$$

โดยที่  $\rho$  เป็นค่าความหนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ )

M เป็นน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ทำได้ (g)

V เป็นปริมาตรของสารตัวอย่าง ( $\text{cm}^3$ )

ทำการทดลองใหม่อีก 2-3 ครั้ง นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

ตารางผนวก ข.1

ความเร็วรอบที่เริ่มเกิดหลุมน้ำวน ( RPM )

| ชนิดใบกาน               | น้ำปั้ง                       | น้ำมันพืช                      |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
|                         | ( $\mu = 0.11 \text{ pa.s}$ ) | ( $\mu = 0.075 \text{ pa.s}$ ) |
| 1. Disk turbine         | 500                           | 450                            |
| 2. Curved disk turbine  | 400                           | 400                            |
| 3. Vaned disk turbine   | 600                           | 640                            |
| 4. Fan turbine          | 450                           | 400                            |
| 5. Curved fan turbine   | 400                           | 350                            |
| 6. Pitch turbine        | 700                           | 700                            |
| 7. Modified fan turbine | 400                           | 350                            |
| 8. Marine type          | 850                           | 800                            |

ตารางผนวก ข.2

ความเร็วรอบที่เริ่มเกิดหลุมน้ำวน ( RPM )

| ชนิดใบกาน       | น้ำเชื่อม          |                    |                    |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                 | (32.4%)            | (42.2%)            | (52.2%)            |
|                 | ( $\mu = 0.0187$ ) | ( $\mu = 0.0262$ ) | ( $\mu = 0.0442$ ) |
| 1. Disk turbine | 250                | 250                | 250                |
| 2. Marine type  | 550                | 650                | 700                |

sugar 32.4% ( $\mu = 18.7$  cp) ( $\rho = 1117.35$  Kg/m<sup>3</sup>)

disk turbine  
(NB)

| rpm       | f       | p       | re         | Np      | 1/Nfr   | m        | \$      |
|-----------|---------|---------|------------|---------|---------|----------|---------|
| 500.00000 | 0.01000 | 0.05235 | 1972.00000 | 0.07947 | 2.23090 | -0.05737 | 0.07589 |
| 600.00000 | 0.05000 | 0.31410 | 2366.40000 | 0.27593 | 1.54923 | -0.05935 | 0.26886 |
| 700.00000 | 0.10000 | 0.73290 | 2760.80000 | 0.40545 | 1.13821 | -0.06103 | 0.40226 |
| 800.00000 | 0.12000 | 1.00512 | 3155.20000 | 0.37251 | 0.87144 | -0.06248 | 0.37573 |
| 850.00000 | 0.13000 | 1.15694 | 3352.40000 | 0.35747 | 0.77194 | -0.06313 | 0.36336 |

(B)

|           |         |          |            |         |
|-----------|---------|----------|------------|---------|
| 500.00000 | 0.36000 | 1.88460  | 1972.00000 | 2.86087 |
| 600.00000 | 0.65000 | 4.08330  | 2366.40000 | 3.58713 |
| 700.00000 | 0.89000 | 6.52281  | 2760.80000 | 3.60853 |
| 800.00000 | 1.19000 | 9.96744  | 3155.20000 | 3.69405 |
| 810.00000 | 1.25000 | 10.60088 | 3194.64000 | 3.78509 |

MARINE TYPE  
(NB)

|           |         |         |            |         |         |          |         |
|-----------|---------|---------|------------|---------|---------|----------|---------|
| 500.00000 | 0.00500 | 0.02618 | 1972.00000 | 0.03973 | 2.23090 | -0.06638 | 0.03767 |
| 600.00000 | 0.01000 | 0.06282 | 2366.40000 | 0.05519 | 1.54923 | -0.07078 | 0.05350 |
| 700.00000 | 0.01000 | 0.07329 | 2760.80000 | 0.04055 | 1.13821 | -0.07450 | 0.04016 |
| 800.00000 | 0.03000 | 0.25128 | 3155.20000 | 0.09313 | 0.87144 | -0.07772 | 0.09413 |
| 860.00000 | 0.05000 | 0.45021 | 3391.84000 | 0.13431 | 0.75409 | -0.07947 | 0.13736 |
| 890.00000 | 0.05000 | 0.46592 | 3510.16000 | 0.12541 | 0.70411 | -0.08030 | 0.12899 |

(B)

|           |         |         |            |         |
|-----------|---------|---------|------------|---------|
| 500.00000 | 0.01000 | 0.05235 | 1972.00000 | 0.07947 |
| 600.00000 | 0.03000 | 0.18846 | 2366.40000 | 0.16556 |
| 700.00000 | 0.09000 | 0.65961 | 2760.80000 | 0.36491 |
| 810.00000 | 0.12000 | 1.01768 | 3194.64000 | 0.36337 |
| 870.00000 | 0.16000 | 1.45742 | 3431.28000 | 0.41997 |

SUGAR 52.2% ( $\mu = 44.2$  cp) ( $\rho = 1229.9$  Kg/m<sup>3</sup>)

DISK TURBINE  
(NB)

| RPM       | F       | P       | Nre        | Np      | 1/Nfr   | m        | \$      |
|-----------|---------|---------|------------|---------|---------|----------|---------|
| 500.00000 | 0.05000 | 0.26175 | 930.00000  | 0.36090 | 2.23090 | -0.04921 | 0.34693 |
| 630.00000 | 0.10000 | 0.65961 | 1171.80000 | 0.45465 | 1.40520 | -0.05172 | 0.44672 |
| 720.00000 | 0.30000 | 2.26152 | 1339.20000 | 1.04427 | 1.07586 | -0.05317 | 1.04022 |
| 800.00000 | 0.31000 | 2.59656 | 1488.00000 | 0.87406 | 0.87144 | -0.05432 | 0.88061 |
| 860.00000 | 0.32000 | 2.88134 | 1599.60000 | 0.78075 | 0.75409 | -0.05510 | 0.79299 |
| 875.00000 | 0.35000 | 3.20644 | 1627.50000 | 0.82492 | 0.72846 | -0.05529 | 0.83949 |

(B)

|           |         |          |            |         |
|-----------|---------|----------|------------|---------|
| 500.00000 | 0.40000 | 2.09400  | 930.00000  | 2.88721 |
| 600.00000 | 0.65000 | 4.08330  | 1116.00000 | 3.25813 |
| 700.00000 | 1.00000 | 7.32900  | 1302.00000 | 3.68266 |
| 800.00000 | 1.20000 | 10.05120 | 1488.00000 | 3.38345 |
| 830.00000 | 1.34000 | 11.64473 | 1543.80000 | 3.51000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MARINE TYPE  
(NB)

|           |         |         |            |         |         |          |         |
|-----------|---------|---------|------------|---------|---------|----------|---------|
| 500.00000 | 0.00500 | 0.02618 | 930.00000  | 0.03609 | 2.23090 | -0.04825 | 0.03472 |
| 600.00000 | 0.01000 | 0.06282 | 1116.00000 | 0.05013 | 1.54923 | -0.05265 | 0.04898 |
| 650.00000 | 0.01000 | 0.07224 | 1283.40000 | 0.03790 | 1.17144 | -0.05602 | 0.03757 |
| 750.00000 | 0.03000 | 0.23558 | 1395.00000 | 0.09624 | 0.99151 | -0.05803 | 0.09629 |
| 800.00000 | 0.05000 | 0.41880 | 1488.00000 | 0.14098 | 0.87144 | -0.05959 | 0.14214 |
| 890.00000 | 0.07000 | 0.65228 | 1655.40000 | 0.15947 | 0.70411 | -0.06216 | 0.16298 |
| 950.00000 | 0.10000 | 0.99465 | 1767.00000 | 0.19995 | 0.61798 | -0.06374 | 0.20617 |

## (B)

|           |         |         |            |         |
|-----------|---------|---------|------------|---------|
| 500.00000 | 0.01000 | 0.05235 | 930.00000  | 0.07218 |
| 600.00000 | 0.02000 | 0.12564 | 1116.00000 | 0.10025 |
| 700.00000 | 0.05000 | 0.36645 | 1302.00000 | 0.18413 |
| 800.00000 | 0.12000 | 1.00512 | 1488.00000 | 0.33834 |
| 830.00000 | 0.18000 | 1.56422 | 1543.80000 | 0.47149 |

SUGAR 42.2% ( $\mu = 26.2$  cp)( $\rho = 1177.1$  kg/m<sup>3</sup>)DISK TURBINE  
(NB)

|           |         |         |            |         |         |          |         |
|-----------|---------|---------|------------|---------|---------|----------|---------|
| 520.00000 | 0.05000 | 0.27222 | 1560.00000 | 0.34848 | 2.06259 | -0.05483 | 0.33492 |
| 620.00000 | 0.12000 | 0.77897 | 1860.00000 | 0.58832 | 1.45090 | -0.05674 | 0.57603 |
| 700.00000 | 0.18000 | 1.31922 | 2100.00000 | 0.69230 | 1.13821 | -0.05806 | 0.68712 |
| 790.00000 | 0.21000 | 1.73697 | 2370.00000 | 0.63414 | 0.89365 | -0.05937 | 0.63839 |
| 850.00000 | 0.25000 | 2.22488 | 2550.00000 | 0.65211 | 0.77194 | -0.06016 | 0.66235 |

## (B)

|           |         |          |            |         |
|-----------|---------|----------|------------|---------|
| 550.00000 | 0.40000 | 2.30340  | 1650.00000 | 2.49203 |
| 620.00000 | 0.55000 | 3.57027  | 1860.00000 | 2.69649 |
| 700.00000 | 0.90000 | 6.59610  | 2100.00000 | 3.46151 |
| 780.00000 | 1.15000 | 9.39159  | 2340.00000 | 3.56228 |
| 800.00000 | 1.20000 | 10.05120 | 2400.00000 | 3.53363 |

MARINE TYPE  
(NB)

|           |         |         |            |         |         |          |         |
|-----------|---------|---------|------------|---------|---------|----------|---------|
| 500.00000 | 0.01000 | 0.05235 | 1500.00000 | 0.07538 | 2.23090 | -0.05978 | 0.07185 |
| 600.00000 | 0.01000 | 0.06282 | 1800.00000 | 0.05235 | 1.54923 | -0.06418 | 0.05090 |
| 700.00000 | 0.03000 | 0.21987 | 2100.00000 | 0.11538 | 1.13821 | -0.06790 | 0.11437 |
| 800.00000 | 0.05000 | 0.41880 | 2400.00000 | 0.14723 | 0.87144 | -0.07112 | 0.14868 |
| 890.00000 | 0.08000 | 0.74546 | 2670.00000 | 0.19034 | 0.70411 | -0.07370 | 0.19532 |
| 940.00000 | 0.12000 | 1.18102 | 2820.00000 | 0.25594 | 0.63120 | -0.07501 | 0.26493 |

## (B)

|           |         |         |            |         |
|-----------|---------|---------|------------|---------|
| 520.00000 | 0.02000 | 0.10889 | 1560.00000 | 0.13939 |
| 620.00000 | 0.04000 | 0.25966 | 1860.00000 | 0.19611 |
| 720.00000 | 0.10000 | 0.75384 | 2160.00000 | 0.36354 |
| 810.00000 | 0.15000 | 1.27211 | 2430.00000 | 0.43086 |
| 880.00000 | 0.20000 | 1.84272 | 2640.00000 | 0.48673 |
| 910.00000 | 0.23000 | 2.19137 | 2730.00000 | 0.52344 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STARCH 3% ( $\mu = 109.6 \text{ cp}$ ) ( $\rho = 1015.6 \text{ Kg/m}^3$ )  
DISK TURBINE

| (NB) | RPM       | F       | P       | Nrb       | Np      | 1/Nfr   | m        | s       |
|------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|----------|---------|
|      | 500.00000 | 0.25000 | 1.30875 | 308.50000 | 2.18535 | 2.23090 | -0.03723 | 2.12103 |
|      | 640.00000 | 0.45000 | 3.01536 | 394.88000 | 2.40089 | 1.36163 | -0.03991 | 2.37150 |
|      | 700.00000 | 0.55000 | 4.03095 | 431.90000 | 2.45294 | 1.13821 | -0.04088 | 2.43999 |
|      | 800.00000 | 0.65000 | 5.44440 | 493.60000 | 2.21949 | 0.87144 | -0.04233 | 2.23246 |
|      | 860.00000 | 0.78000 | 7.02328 | 530.62000 | 2.30472 | 0.75409 | -0.04312 | 2.33294 |
|      | 890.00000 | 0.83000 | 7.73419 | 549.13000 | 2.28991 | 0.70411 | -0.04349 | 2.32512 |

| (B) |           |         |         |           |         |  |  |  |
|-----|-----------|---------|---------|-----------|---------|--|--|--|
|     | 520.00000 | 0.35000 | 1.90554 | 320.84000 | 2.82867 |  |  |  |
|     | 620.00000 | 0.55000 | 3.57027 | 382.54000 | 3.12680 |  |  |  |
|     | 700.00000 | 0.65000 | 4.76385 | 431.90000 | 2.89893 |  |  |  |
|     | 820.00000 | 0.87000 | 7.46930 | 505.94000 | 2.82756 |  |  |  |
|     | 850.00000 | 1.00000 | 8.89950 | 524.45000 | 3.02470 |  |  |  |

| MARINE TYPE | (NB)      |         |         |           |         |         |          |         |
|-------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|----------|---------|
|             | 500.00000 | 0.10000 | 0.52350 | 308.50000 | 0.87414 | 2.23090 | -0.02163 | 0.85910 |
|             | 620.00000 | 0.13000 | 0.84388 | 382.54000 | 0.73906 | 1.45090 | -0.02682 | 0.73172 |
|             | 700.00000 | 0.15000 | 1.09935 | 431.90000 | 0.66898 | 1.13821 | -0.02974 | 0.66641 |
|             | 800.00000 | 0.17000 | 1.42392 | 493.60000 | 0.58048 | 0.87144 | -0.03297 | 0.58312 |
|             | 900.00000 | 0.23000 | 2.16729 | 555.30000 | 0.62053 | 0.68855 | -0.03581 | 0.62888 |
|             | 930.00000 | 0.25000 | 2.43428 | 573.81000 | 0.63168 | 0.64484 | -0.03660 | 0.64190 |

| (B) |           |         |         |           |         |  |  |  |
|-----|-----------|---------|---------|-----------|---------|--|--|--|
|     | 500.00000 | 0.05000 | 0.26175 | 308.50000 | 0.43707 |  |  |  |
|     | 620.00000 | 0.10000 | 0.64914 | 382.54000 | 0.56851 |  |  |  |
|     | 720.00000 | 0.15000 | 1.13076 | 444.24000 | 0.63233 |  |  |  |
|     | 800.00000 | 0.20000 | 1.67520 | 493.60000 | 0.68292 |  |  |  |
|     | 885.00000 | 0.22000 | 2.03851 | 546.04500 | 0.61384 |  |  |  |
|     | 920.00000 | 0.30000 | 2.88972 | 567.64000 | 0.77458 |  |  |  |

| FAN TURBINE | (B)       |         |          |           |         |  |  |  |
|-------------|-----------|---------|----------|-----------|---------|--|--|--|
|             | 550.00000 | 0.50000 | 2.87925  | 339.35000 | 3.61214 |  |  |  |
|             | 630.00000 | 0.70000 | 4.61727  | 388.71000 | 3.85423 |  |  |  |
|             | 710.00000 | 0.85000 | 6.31865  | 438.07000 | 3.68487 |  |  |  |
|             | 810.00000 | 1.10000 | 9.32877  | 499.77000 | 3.66390 |  |  |  |
|             | 840.00000 | 1.15000 | 10.11402 | 518.28000 | 2.00000 |  |  |  |

| CURVED FAN | (B)       |         |         |           |         |  |  |  |
|------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|--|--|--|
|            | 500.00000 | 0.20000 | 1.04700 | 308.50000 | 1.74828 |  |  |  |
|            | 600.00000 | 0.35000 | 2.19870 | 370.20000 | 2.12464 |  |  |  |
|            | 710.00000 | 0.40000 | 2.97348 | 438.07000 | 1.73406 |  |  |  |
|            | 800.00000 | 0.43000 | 3.60168 | 493.60000 | 1.46828 |  |  |  |
|            | 870.00000 | 0.50000 | 4.55445 | 536.79000 | 1.44362 |  |  |  |
|            | 890.00000 | 0.50000 | 4.65915 | 549.13000 | 1.37946 |  |  |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PITCH FAN  
(B)

|           |         |         |           |         |
|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 520.00000 | 0.20000 | 1.08889 | 320.84000 | 1.61638 |
| 630.00000 | 0.25000 | 1.64903 | 386.71000 | 1.37651 |
| 720.00000 | 0.30000 | 2.26152 | 444.24000 | 1.26467 |
| 780.00000 | 0.35000 | 2.85831 | 481.26000 | 1.25719 |
| 800.00000 | 0.40000 | 3.35040 | 493.60000 | 1.36584 |
| 840.00000 | 0.43000 | 3.78176 | 518.28000 | 1.33177 |
| 860.00000 | 0.48000 | 4.32202 | 530.62000 | 1.41829 |

CURVED DISK  
(B)

|           |         |         |           |         |
|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 500.00000 | 0.20000 | 1.04700 | 308.50000 | 1.74828 |
| 600.00000 | 0.40000 | 2.51280 | 370.20000 | 2.42816 |
| 700.00000 | 0.50000 | 3.66450 | 431.90000 | 2.22995 |
| 750.00000 | 0.50000 | 3.92625 | 462.75000 | 1.94253 |
| 800.00000 | 0.80000 | 6.70080 | 493.60000 | 2.73168 |
| 830.00000 | 1.10000 | 9.55911 | 512.11000 | 3.48945 |

VANE DISK  
(B)

|           |         |         |           |         |
|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 390.00000 | 0.05000 | 0.20417 | 240.63000 | 0.71839 |
| 445.00000 | 0.15000 | 0.69887 | 274.56500 | 1.65536 |
| 500.00000 | 0.20000 | 1.04700 | 308.50000 | 1.74828 |
| 620.00000 | 0.40000 | 2.59656 | 382.54000 | 2.27403 |
| 700.00000 | 0.50000 | 3.66450 | 431.90000 | 2.22995 |
| 720.00000 | 0.50000 | 3.76920 | 444.24000 | 2.10778 |
| 790.00000 | 0.65000 | 5.37635 | 487.43000 | 2.27604 |
| 800.00000 | 0.70000 | 5.86320 | 493.60000 | 2.39022 |
| 830.00000 | 0.70000 | 6.08307 | 512.11000 | 2.22056 |

MODIFIED FAN  
(B)

|           |         |         |           |         |
|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 500.00000 | 0.38000 | 1.98930 | 308.50000 | 3.32173 |
| 600.00000 | 0.45000 | 2.82690 | 370.20000 | 2.73168 |
| 650.00000 | 0.60000 | 4.08330 | 401.05000 | 3.10345 |
| 680.00000 | 0.65000 | 4.62774 | 419.56000 | 3.07196 |
| 700.00000 | 0.70000 | 5.13030 | 431.90000 | 3.12193 |
| 745.00000 | 0.80000 | 6.24012 | 459.66500 | 3.14991 |
| 780.00000 | 0.88000 | 7.18661 | 481.26000 | 3.16092 |
| 800.00000 | 0.90000 | 7.53840 | 493.60000 | 3.07314 |
| 810.00000 | 0.95000 | 8.05667 | 499.77000 | 3.16427 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OIL ( $\mu = 75.05 \text{ cp}$ ) ( $\rho = 898 \text{ Kg/m}^3$ )

DISK TURBINE

(NB)

| RPM       | F       | P       | Mre       | Np      | 1/Nfr   | $\eta$   | $\xi$   |
|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|----------|---------|
| 500.00000 | 0.15000 | 0.78525 | 400.22000 | 1.45206 | 2.23090 | -0.04006 | 1.40613 |
| 600.00000 | 0.20000 | 1.25640 | 480.26400 | 1.34450 | 1.54923 | -0.04204 | 1.31998 |
| 700.00000 | 0.25000 | 1.83225 | 560.30800 | 1.23474 | 1.13821 | -0.04371 | 1.22777 |
| 800.00000 | 0.35000 | 2.93160 | 640.35200 | 1.32349 | 0.87144 | -0.04516 | 1.33174 |
| 930.00000 | 0.38000 | 3.70010 | 744.40920 | 1.06329 | 0.64484 | -0.04680 | 1.08534 |

(B)

|           |         |         |           |         |
|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 500.00000 | 0.20000 | 1.04700 | 400.22000 | 1.93607 |
| 600.00000 | 0.40000 | 2.51280 | 480.26400 | 2.68899 |
| 710.00000 | 0.65000 | 4.83191 | 568.31240 | 3.12053 |
| 800.00000 | 0.80000 | 6.70080 | 640.35200 | 3.02512 |
| 890.00000 | 1.00000 | 9.31830 | 712.39160 | 3.05529 |

MARINE TYPE

(NB)

|           |         |         |           |         |         |          |         |
|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|----------|---------|
| 500.00000 | 0.01000 | 0.05235 | 400.22000 | 0.09680 | 2.23090 | -0.02791 | 0.09466 |
| 600.00000 | 0.03000 | 0.18846 | 480.26400 | 0.20167 | 1.54923 | -0.03230 | 0.19884 |
| 700.00000 | 0.05000 | 0.36645 | 560.30800 | 0.24695 | 1.13821 | -0.03602 | 0.24580 |
| 800.00000 | 0.10000 | 0.83760 | 640.35200 | 0.37814 | 0.87144 | -0.03925 | 0.38019 |
| 910.00000 | 0.12000 | 1.14332 | 728.40040 | 0.35070 | 0.67350 | -0.04235 | 0.35662 |

(B)

|           |         |         |           |         |
|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 500.00000 | 0.03000 | 0.15705 | 400.22000 | 0.29041 |
| 600.00000 | 0.05000 | 0.31410 | 480.26400 | 0.33612 |
| 700.00000 | 0.08000 | 0.58632 | 560.30800 | 0.39512 |
| 800.00000 | 0.15000 | 1.25640 | 640.35200 | 0.56721 |
| 900.00000 | 0.18000 | 1.69614 | 720.39600 | 0.53780 |

CURVED DISK

(B)

|           |         |         |           |         |
|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 500.00000 | 0.10000 | 0.52350 | 400.22000 | 0.96804 |
| 610.00000 | 0.35000 | 2.23534 | 488.26840 | 2.27636 |
| 700.00000 | 0.45000 | 3.29805 | 560.30800 | 2.22253 |
| 800.00000 | 0.60000 | 5.02560 | 640.35200 | 2.26884 |
| 930.00000 | 0.80000 | 7.53840 | 720.39600 | 2.39022 |
| 940.00000 | 0.90000 | 8.85762 | 752.41360 | 2.46501 |

PITCH FAN

(B)

|           |         |         |           |         |
|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 500.00000 | 0.05000 | 0.26175 | 400.22000 | 0.48402 |
| 610.00000 | 0.10000 | 0.63867 | 488.26840 | 0.65039 |
| 740.00000 | 0.18000 | 1.39460 | 592.32560 | 0.79550 |
| 810.00000 | 0.25000 | 2.12018 | 648.35640 | 0.92215 |
| 920.00000 | 0.32000 | 3.08237 | 736.40480 | 0.91497 |
| 975.00000 | 0.38000 | 3.87914 | 780.42900 | 0.96740 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## FAN TURBINE

(8)

|           |         |         |           |         |
|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 520.00000 | 0.15000 | 0.81666 | 416.22880 | 1.34251 |
| 610.00000 | 0.26000 | 1.78828 | 488.26840 | 1.92109 |
| 700.00000 | 0.35000 | 2.56515 | 560.30800 | 1.72864 |
| 800.00000 | 0.42000 | 3.51792 | 640.35200 | 1.58819 |
| 880.00000 | 0.45000 | 4.14612 | 704.38720 | 1.40630 |
| 920.00000 | 0.48000 | 4.62355 | 736.40480 | 1.37245 |

## MODIFIED FAN

(8)

|           |         |         |           |         |
|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 500.00000 | 0.30000 | 1.57050 | 400.22000 | 2.90411 |
| 600.00000 | 0.50000 | 3.14100 | 480.26400 | 3.36124 |
| 700.00000 | 0.70000 | 5.13030 | 560.30800 | 3.45728 |
| 800.00000 | 0.90000 | 7.53840 | 640.35200 | 3.40326 |
| 850.00000 | 1.10000 | 9.78945 | 680.37400 | 3.68457 |

## VANE DISK

(8)

|           |         |         |           |         |
|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 500.00000 | 0.15000 | 0.78525 | 400.22000 | 1.45206 |
| 600.00000 | 0.26000 | 1.63332 | 480.26400 | 1.74784 |
| 620.00000 | 0.28000 | 1.81759 | 496.27280 | 1.76281 |
| 740.00000 | 0.42000 | 3.25408 | 592.32560 | 1.85617 |
| 800.00000 | 0.53000 | 4.43928 | 640.35200 | 2.00414 |
| 860.00000 | 0.62000 | 5.58260 | 688.37840 | 2.02874 |
| 880.00000 | 0.65000 | 5.98884 | 704.38720 | 2.03133 |

## CURVED FAN

(8)

|           |         |         |           |         |
|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 500.00000 | 0.30000 | 1.57050 | 400.22000 | 2.90411 |
| 610.00000 | 0.50000 | 3.19335 | 488.26840 | 3.25194 |
| 710.00000 | 0.65000 | 4.83191 | 568.31240 | 3.12053 |
| 800.00000 | 0.80000 | 6.70080 | 640.35200 | 3.02512 |
| 850.00000 | 0.95000 | 8.45453 | 680.37400 | 3.18213 |
| 870.00000 | 0.98000 | 8.92672 | 696.38280 | 3.13343 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนเพลากวน

ทำด้วยสแตนเลส

มอเตอร์

ชุดเฟืองทด

ถังกวน

ตัวโครงของเครื่อง

ทำด้วยเหล็กฉาก

แผ่นรองถังกวน

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SCALE

MIXER :

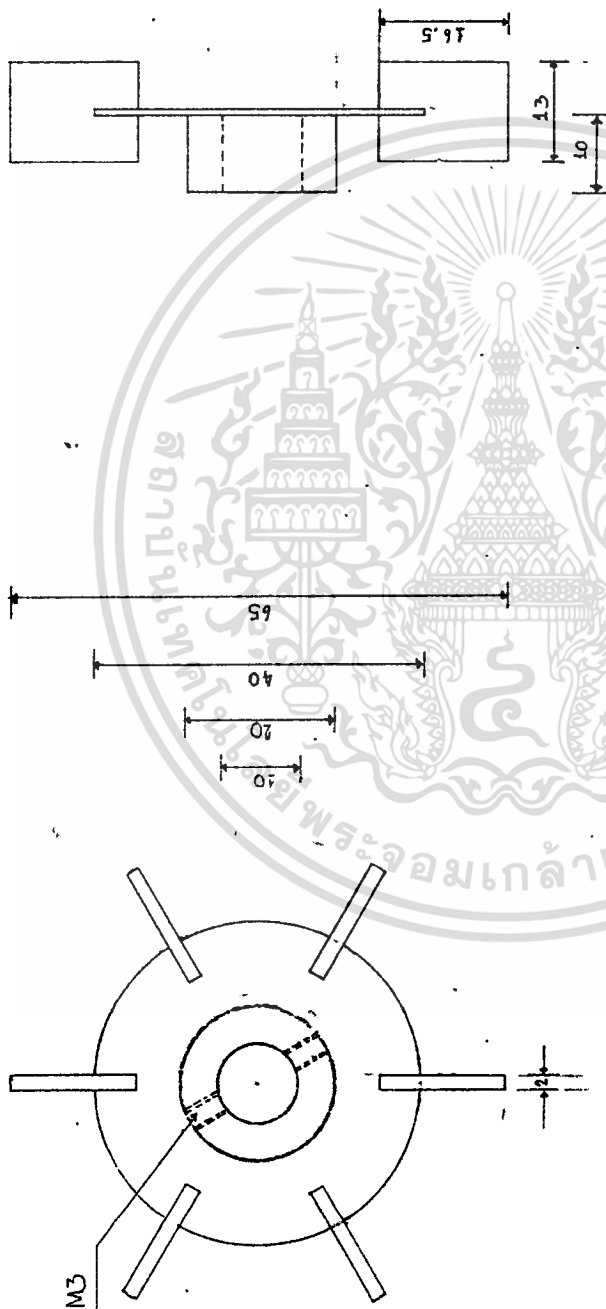
RITTIRON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

DUMRONG

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

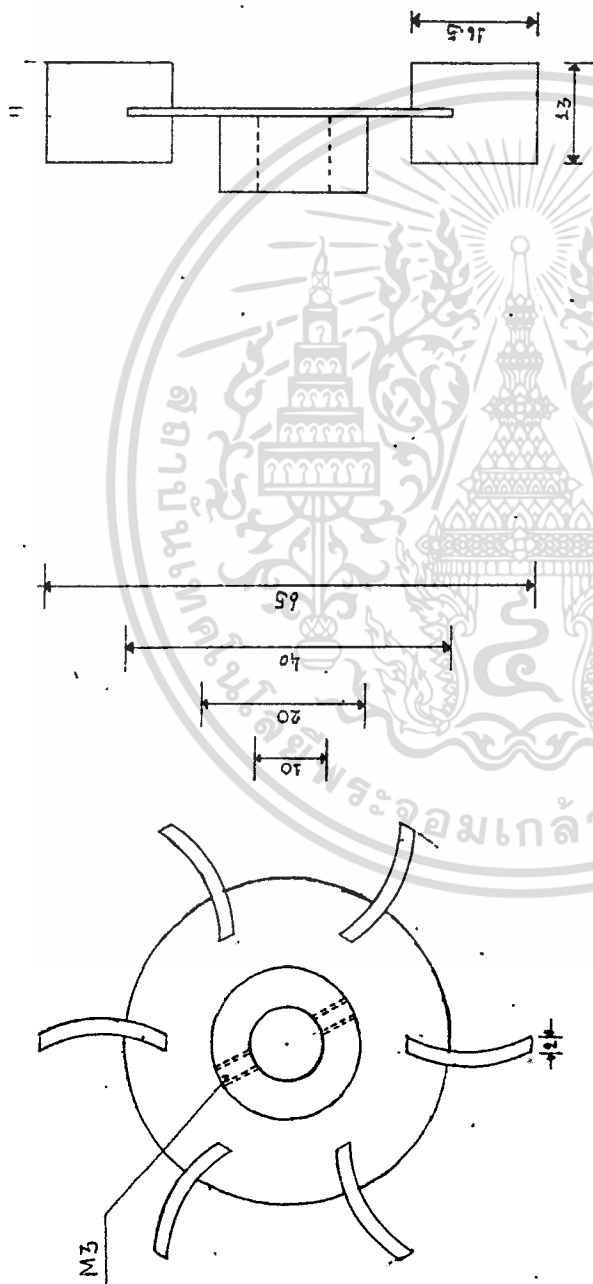
4K



| No. of Pieces                          | Nonenclature | Pos No. | Mat/Dim/Misc. |
|----------------------------------------|--------------|---------|---------------|
| List of Parts                          |              |         |               |
| King Mongkut's Institute of Technology |              |         |               |
| Name:                                  |              |         |               |
| Date:                                  |              |         |               |
| Class:                                 |              |         |               |
| Scale 1:1                              | DISK TURBINE |         |               |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

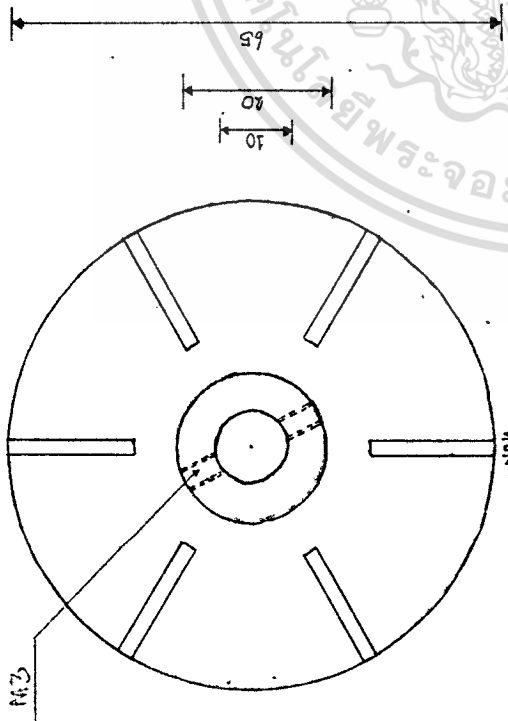
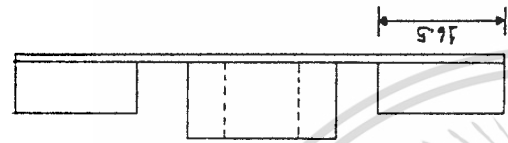
ไปว่ากรอจีตทั้งนี้บ ลึกทั้งห้าบปให้ดัดแปลงบื้อหา และต้อว้างถึงอิ้งอ้วของเอกสารทอด้รังนี้บื้อกรบ่าไปด้



| No. of Pieces                          | Nomenclature                      | Pos No. | Mat/Dim/Misc. |
|----------------------------------------|-----------------------------------|---------|---------------|
| List of Parts                          |                                   |         |               |
| King Mongkut's Institute of Technology |                                   |         |               |
| Name:                                  |                                   |         |               |
| Date:                                  |                                   |         |               |
| Class:                                 |                                   |         |               |
| Scale 1:1                              | CURVED BLADE MOUNTED DISK TURBINE |         |               |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

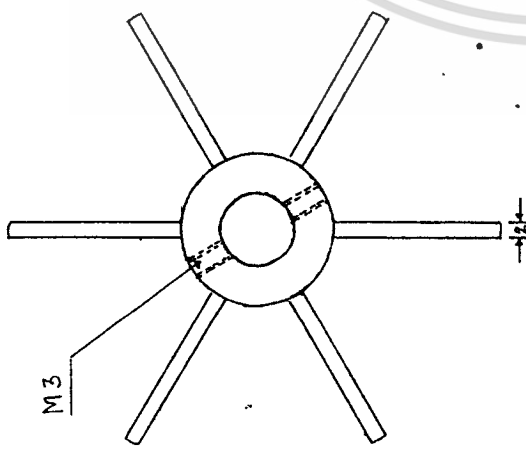
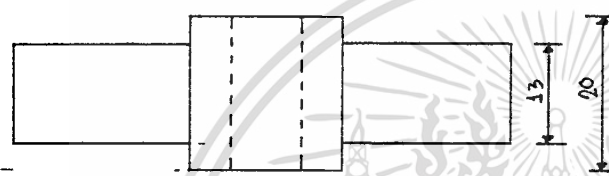
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



| No. of Piece                           | Nomenclature | Pos No.      | Mat/Dim/Misc. |
|----------------------------------------|--------------|--------------|---------------|
| List of Parts                          |              |              |               |
| King Mongkut's Institute of Technology |              |              |               |
| Name:                                  |              | Date:        |               |
| Scale 1:1                              |              | Class:       |               |
| VANE                                   |              | DISK TURBINE |               |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

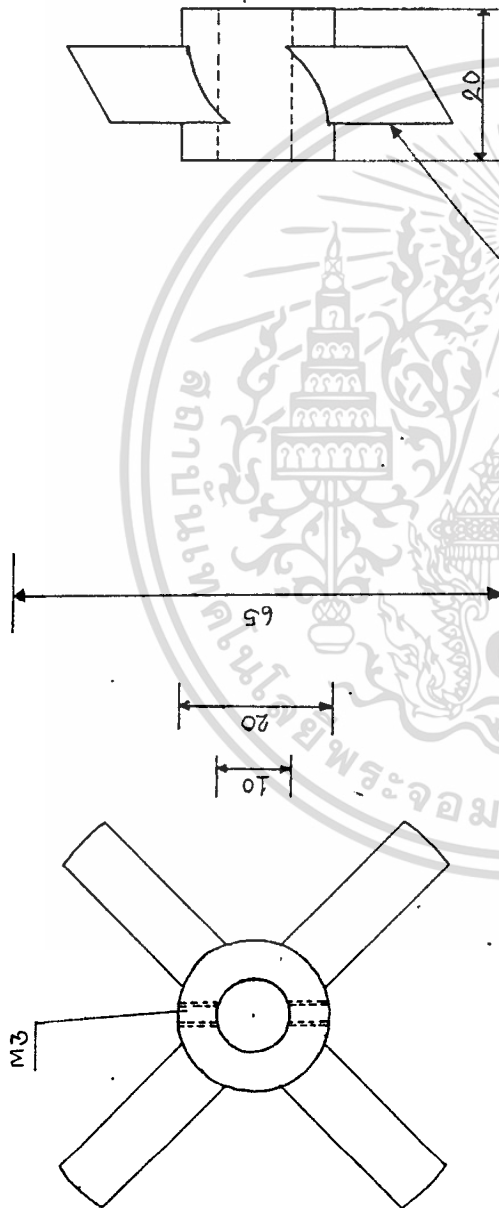
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



| No. of Pieces                          | Nomenclature | Pos No. | Mat/Dim/Misc. |
|----------------------------------------|--------------|---------|---------------|
| List of Parts                          |              |         |               |
| King Mongkut's Institute of Technology |              |         |               |
| Scale                                  | Name:        |         |               |
| 1:1                                    | Date:        |         |               |
|                                        | Class:       |         |               |
|                                        | FAN TURBINE  |         |               |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

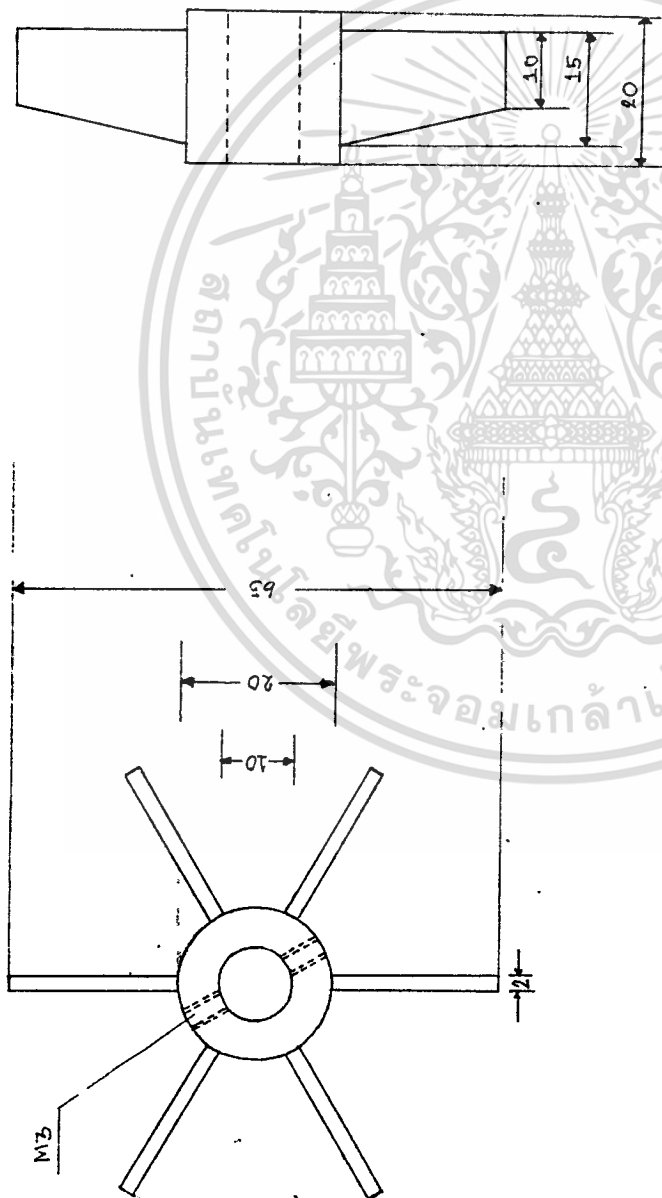
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



| No. of Pieces                          | Nomenclature      | Pos No. | Mat/Dim/Misc. |
|----------------------------------------|-------------------|---------|---------------|
| List of Parts                          |                   |         |               |
| King Mongkui's Institute of Technology |                   |         |               |
| Scale 1:1                              | PITCH FAN TURBINE | Name:   | Date:         |
|                                        |                   |         | Class:        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

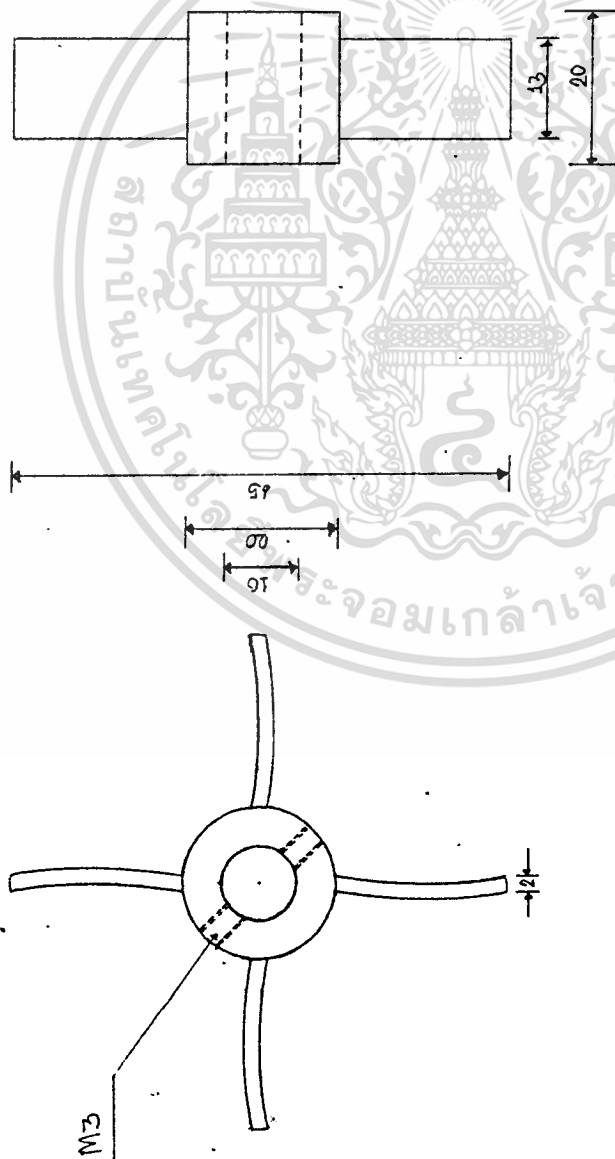
ไปว่ากรณิดังนี้ ลักขังหำงปืให้ดัดแปลงป้อหา และต้องอ้างอิงถึงอำของเอกสารทกครั้งที่ปรำกฏวำไปใช้



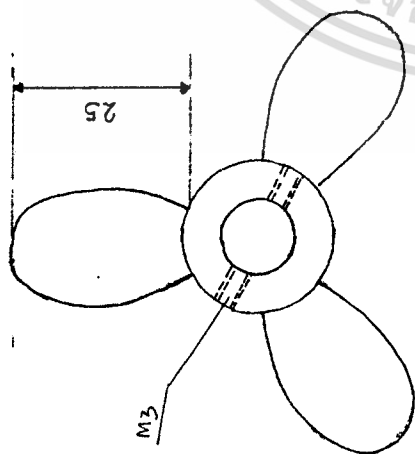
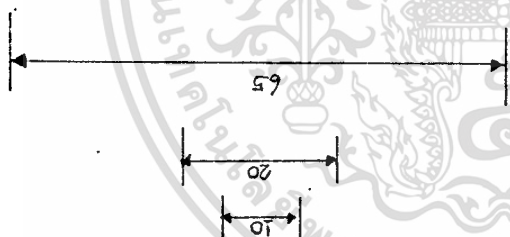
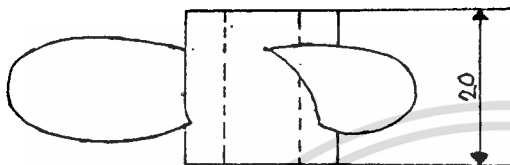
| No. of Piece                           | Nomenclature | Pos No. | Mat/Dim/Misc. |
|----------------------------------------|--------------|---------|---------------|
| List of Parts                          |              |         |               |
| King Mongkut's Institute of Technology |              |         |               |
| Scale                                  | Name:        |         |               |
| 1:1                                    | Date:        |         |               |
|                                        | Class:       |         |               |
|                                        | MODIFIED     | TURBINE |               |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



| No. of Pieces                          | Nomenclature       | Pos No. | Mat/Dim/Misc. |
|----------------------------------------|--------------------|---------|---------------|
| List of Parts                          |                    |         |               |
| King Mongkut's Institute of Technology |                    |         |               |
| Scale                                  | Name:              |         |               |
| 1:1                                    | Date:              |         |               |
|                                        | Class:             |         |               |
|                                        | CURVED FAN TURBINE |         |               |



| No. of Piece                           | Nomenclature | Pos No. | Mat./Dim./Misc. |
|----------------------------------------|--------------|---------|-----------------|
| List of Parts                          |              |         |                 |
| King Mongkut's Institute of Technology |              |         |                 |
| Scale                                  | Name:        |         | Date:           |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริิฎฎณานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลงด้วยความเรียบร้อย โดยได้รับคำแนะนำ  
จาก อ.อุพร จรรยงค์วรกุล อ. ปานมนัส ศิริสมบุรณ์ อ.นิมเพ็ญ ภิรพร และ  
ความช่วยเหลือของเพื่อน และ น้อง ปราณี อังกีรัตน์ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณอย่างสูง  
และขอให้ประสบแต่ความสุขความเจริญต่อไป

ทางคณะผู้จัดทำหวังว่าปริิฎฎณานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ เรื่อง  
การออกแบบและสร้างเครื่องผสม

14 เมษายน 2534

ฤทธิรณ ศิริสิทธิพิทักษ์

คำรงค์ กุลวาทัญญ



## เอกสารอ้างอิง

1. ชำญ ภูมิดงาน และ วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ , "การออกแบบเครื่องกล เล่ม 1" บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด , 2533 , หน้า 201-220
2. ชำญ ภูมิดงาน และ วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ , "การออกแบบเครื่องกล เล่ม 2" บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด , 2533 , 347 หน้า
3. วิฑูร รัตนศักดิ์ , "รูปร่างของกันแก้งผสมที่ดีเป็นอย่างไร" , 65 เรื่องน่ารู้เทคนิค-เครื่องกล บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด , 2533 , หน้า 183-186
4. Anon , "Instruction Manual" : DC-Stirrer" Tokyo : Rikakikai , 1981
5. Chapman , F.S.& Holland , F.A., "Liquid Mixing and Processing in Stirred Tanks", 2nd Ed. New York : Mc Graw-Hill, 1967, pp.1-107.
6. Coulson, J.M. & Richardson, J.F., "Chemical Engineering Volume 2", 2nd Ed. New York, 1956, pp. 917-939.
7. Mc Cabe W.L., Smith J.C.& Harriott p. , "Unit Operation of Chemical Engineering" , 4th Ed. , Mc Graw-Hill ,1985, pp. 208-229.