

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลของกำลังบิดต่อปริมาตรที่มีต่อการขยายขนาดของปฏิกรณ์เคมี
ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

ร/ท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

๑๘๔๓

เลขหมู่.....๒๕๑๘

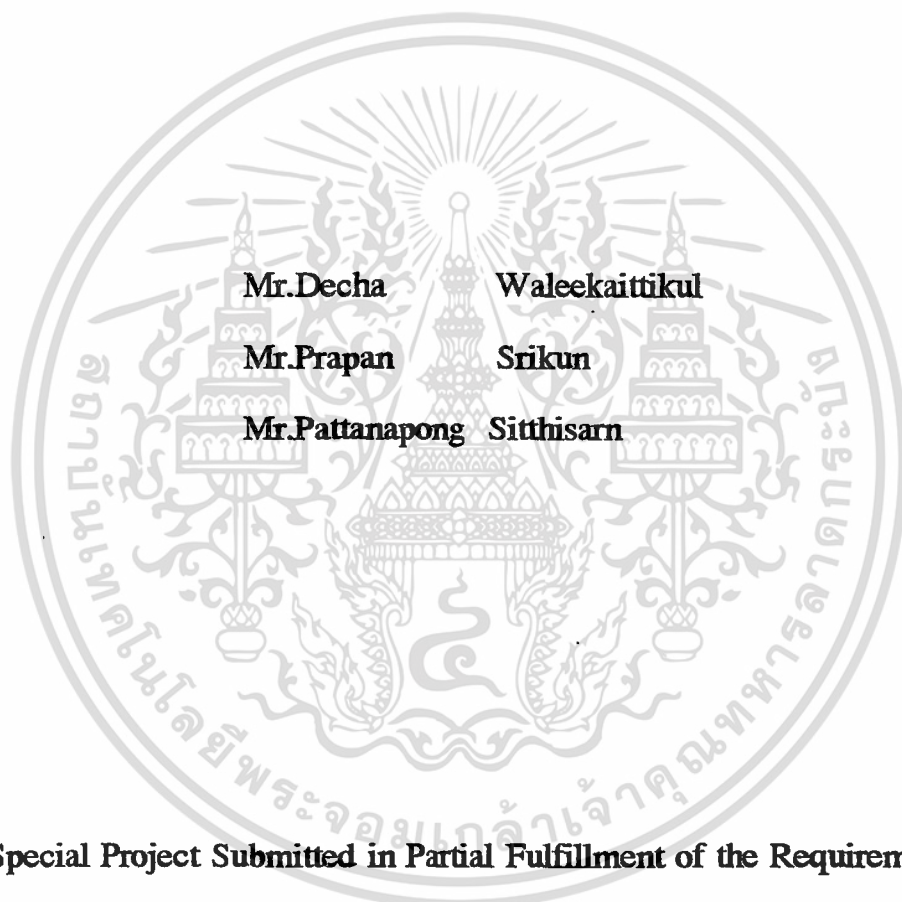
พ.ศ. ๒๕๓๘

เลขทะเบียน.....๒๖๒๐๗

วัน, เดือน, ปี ๑๖ ต.ค. ๒๕๓๙

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**The Effect of Torque per Volume for Scale Up of Chemical Reactor
in Carboxymethyl Cellulose Synthesis**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Bachelor of Science**

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang

1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ โครงการพิเศษ การศึกษาผลของกำลังบิดต่อปริมาตรที่มีต่อการขยายขนาดของถัง
ปฏิกรณ์เคมี ในการสังเคราะห์คาร์บอนกึ่งเททิลเซลลูโลส

นักศึกษา นายเดชา วลีเกียรติกุล
นายประพันธ์ ศรีคุณ
นายพัฒน์พงศ์ สิทธิสาร

ภาควิชา เคมี


อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์
ดร.ประเสริฐ คุณคำชู
อาจารย์อนุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล
อาจารย์ภัทรารุช มนต์วิเศษ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้รับโครงการพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต


(ผศ.ดร.เมธิชญชัย ไชยสิทธิ์)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ


(ผศ.ดร.ศักดิ์ ไตรศักดิ์)

ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.สุนิตย์ สุขสำราญ)

กรรมการ

(ดร.ศิริชัย หวังเจริญตระกูล)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาผลของกำลังบิดต่อปริมาตรที่มีต่อการขยายขนาดของถังปฏิกรณ์เคมี ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	
นักศึกษา	นายเดชา	วลีเกียรติกุล
	นายประพันธ์	ศรีคุณ
	นายพัฒนพงศ์	สิทธิสาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์	
	ดร.ประเสริฐ	คุณคำชู
	อาจารย์อนุรักษ์	ปิตรีกษ์สกุล
	อาจารย์ภัทราวุธ	มนต์วิเศษ
ภาควิชา	เคมี	
ปีการศึกษา	2538	

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของกำลังบิดต่อปริมาตร ที่มีต่อการขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมี ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส มีวิธีการศึกษา 2 วิธีคือ ควบคุมความเร็วรอบในการปั่นกวน และควบคุมกำลังบิดในการปั่นกวน โดยอาศัยหลักการขยายขนาดด้วยกำลังบิดต่อปริมาตรเซลลูโลสที่ใช้สังเคราะห์มี 2 ลักษณะคือ เป็นเส้นใยละเอียดจากเชื้อกระดาก และเป็นผง เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการการศึกษา พบว่าค่าองศาการแทนที่ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เมื่อสังเคราะห์ด้วยถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร เทียบกับขนาด 24.7 ลิตร ที่สภาวะการปั่นกวนเดียวกัน ให้ผลใกล้เคียงกันเมื่อถึงช่วงคงที่การเกิดปฏิกิริยา เมื่อเทียบค่าองศาการแทนที่ระหว่างเซลลูโลสทั้ง 2 ลักษณะ ผลที่เกิดขึ้นมีลักษณะเช่นเดียวกัน และพบว่า การควบคุมความเร็วรอบในการปั่นกวน เป็นวิธีควบคุมที่ง่ายและมีต้นทุนการสร้างระบบควบคุมดีกว่าการควบคุมกำลังบิดในการปั่นกวน สรุปได้ว่าตัวแปรสำคัญที่ใช้เป็นเกณฑ์การขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมีในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสคือกำลังบิดต่อปริมาตร โดยควบคุมระบบการสังเคราะห์ด้วยความเร็วรอบในการปั่นกวน

Special Project Title **The Effect of Torque Per Volume for Scale Up of Chemical Reactor in Carboxymethyl cellulose Synthesis.**

Name **Mr.Decha Waleekaittikul**
 Mr.Prapan Srikun
 Mr.Pattanapong Sitthisam

Special Project Advisor **Asst.Prof.Dr.Theerawat Mongkolasawarat**

Dr.Prasert Khunkamechoo

Mr.Anuruk Pitirugsakul

Mr.Pathavuth Monvisade

Department **Chemistry**

Academic Year **1995**

Abstract

The studies on the effects of torque per volume for scale up of chemical reactor in carboxymethyl cellulose (CMC) synthesis were divided into 2 parts. The first part involves a study on the speed of agitation and the second part involves a study on the torque of agitation. Both part were scaled up by torque per volume and using celluloses from 2 different sources in the form of power and pulp. It was found that degree of substitution of CMC obtained from 24.7-litre chemical reactor was comparable to the value obtained from 2-litre chemical reactor using the same torque per volume agitation. In addition, the controlled speed of agitation could save energy more than controlled torque. Thus, it was implied that the parameter such as torque per volume can be used for scale up of chemical reactor by controlled speed of agitation in carboxymethyl cellulose synthesis.

กิติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคลากรหลายฝ่ายที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของโครงการพิเศษนี้ ทางผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้จึงขอขอบคุณผู้ให้ความช่วยเหลือ ดังมีรายนามต่อไปนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์ ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการทำโครงการพิเศษนี้มาตลอด

ขอขอบคุณ ดร.ประเสริฐ คุณคำชู และอาจารย์อนุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล ที่ให้คำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษนี้มาตลอด

ขอขอบคุณ อาจารย์ภัทราวุธ มนต์วิเศษ ที่ให้คำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษนี้มาตลอด
ขอขอบคุณคณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่ช่วยพิจารณาและแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บริษัท Thai Cellulose Product จำกัด ที่อนุเคราะห์เยื่อกระดาษ เพื่อนำมาใช้สังเคราะห์คาร์บอนซีเมนต์เซลลูโลส

ขอขอบคุณ ร้านโลหะภัณฑ์การช่าง บริษัท แสงชัยมิเตอร์ จำกัด บริษัท เอ็มคอนโทรล จำกัด และบริษัท เบคไทย กรุงเทพมหานครเคมีภัณฑ์ จำกัด ที่ให้คำแนะนำในการจัดสร้างตั้งอุปกรณ์เคมีและอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

ขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาเอื้อเฟื้อเครื่องมือวัดกระแส เครื่องมือวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า และเครื่องมือวัดความเร็วรอบ

ขอขอบคุณ คุณภานุมาศ ทองตะนูนาม และทุกๆ คนที่เกี่ยวข้อง ที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและกำลังใจ จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

นายเดชา วลีเกียรติกุล

นายประพันธ์ ศรีคุณ

นายพัฒน์พงศ์ ลิทธิสาร

18 มีนาคม 2539

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
สัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	6
2.2 การกวน	7
2.3 ถึงมาตรฐาน	9
2.4 การขยายขนาด	10
2.4.1 การศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการขยายขนาด ถึงปฏิกรณ์เคมี	10
2.4.2 การขยายขนาดโดยใช้ความคล้ายเชิงเรขาคณิตและ ความคล้ายเชิงพลศาสตร์	11
2.4.3 การหาเกณฑ์ในการขยายขนาดโดยใช้หลักความคล้าย เชิงเรขาคณิต ร่วมกับหลักความคล้ายเชิงพลศาสตร์	12
2.5 ระบบควบคุมกำลังบิดของมอเตอร์	16
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	22
3.2 สารเคมี	23
3.3 การเขียนแบบ ออกแบบ และจัดสร้างถึงปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร พร้อมทั้งจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็น	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
3.4 การศึกษาพารามิเตอร์ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร	24
3.4.1 ขั้นตอนในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฟสทรานสเฟอร์	24
3.4.2 ขั้นตอนในการทำคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสให้บริสุทธิ์	25
3.4.3 การหาค่าองศาการแทนที่ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	25
3.5 การศึกษาการขยายขนาดในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ด้วยถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร โดยใช้กำลังบิดต่อปริมาตร เป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด	26
บทที่ 4 การออกแบบถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร	
4.1 การเขียนแบบ การออกแบบ ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร	29
4.2 อุปกรณ์ประกอบถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร	36
บทที่ 5 ผลการวิจัยและวิจารณ์	
5.1 ผลของความเร็รรอบ และชนิดของเซลลูโลส ในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร	37
5.2 ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร	38
5.3 ผลของการขยายขนาดโดยใช้กำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ ในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร	38
5.3.1 ผลของการควบคุมความเร็รรอบในการปั่นกวน	38
5.3.2 ผลของการควบคุมกำลังบิดในการปั่นกวน	39
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
6.1 ผลของความเร็รรอบในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร	48
6.1.1 ผลของความเร็รรอบต่อค่าองศาการแทนที่	48
6.1.2 ผลของความเร็รรอบต่อกำลังบิดที่เกิดขึ้น	48
6.2 ผลของการขยายขนาดโดยใช้กำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ ในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร	49
6.2.1 ผลของความเร็วกการปั่นกวนต่อค่าองศาการแทนที่	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
6.3 เปรียบเทียบผลของการใช้กำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ ในการขยายขนาด ระหว่างถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร กับถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร	49
6.3.1 ผลของการขยายขนาดต่อค่าองศาการแทนที่ เมื่อควบคุมที่ความเร็วในการปั่นกววน	49
6.3.2 ผลของการขยายขนาดต่อค่าองศาการแทนที่ เมื่อควบคุมที่ความเร็วในการปั่นกววน	49
6.4 ข้อเสนอแนะ	50
ภาคผนวก ก แผนผังแสดงการต่อวงจรไฟฟ้า	51
ภาคผนวก ข การเตรียมสาร	52
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดลอง	53
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณ	71
ภาคผนวก จ ประมวลภาพถ่ายอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	74
เอกสารอ้างอิง	85
บรรณานุกรม	86

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างส่วนประกอบของ ถึงมาตรฐาน	9
ตารางที่ 2.2 แสดงแฟคเตอร์ที่ใช้เป็นตัวคูณในการขยายขนาด	15
ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างส่วนประกอบของ ถึงปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร กับถึงมาตรฐาน	29
ตารางที่ ค.1 แสดงข้อมูลการหาองศาการแทนที่ที่ความเร็วรอบการปั่นกววน 160 รอบต่อนาที	53
ตารางที่ ค.2 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ ใน การปั่นกววนที่ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที	54
ตารางที่ ค.3 แสดงข้อมูลการหาองศาการแทนที่ที่ความเร็วรอบการปั่นกววน 200 รอบต่อนาที	55
ตารางที่ ค.4 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ ใน การปั่นกววนที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที	56
ตารางที่ ค.5 แสดงข้อมูลองศาการแทนที่ ที่ความเร็วรอบการปั่นกววน 50 รอบต่อนาที	57
ตารางที่ ค.6 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ ใน การปั่นกววนที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที	58
ตารางที่ ค.7 แสดงข้อมูลค่าองศาการแทนที่ เทียบกับการปั่นด้วยความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที	59
ตารางที่ ค.8 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ ใน การปั่นกววนที่ความเร็วรอบ 68.3 รอบต่อนาที	60
ตารางที่ ค.9 แสดงข้อมูลการหาองศาการแทนที่ที่ความเร็วรอบการปั่นกววน 160 รอบต่อนาที	61
ตารางที่ ค.10 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ ใน การปั่นกววนที่ความเร็วรอบ 85.4 รอบต่อนาที	62

	หน้า
ตารางที่ ค.11 แสดงข้อมูลการหาค่าองศาการแทนที่ที่ความเร็วรอบการปั่นกววน 160 รอบต่อนาที	63
ตารางที่ ค.12 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ ใน การปั่นกววนที่ความเร็วรอบ 85.4 รอบต่อนาที	64
ตารางที่ ค.13 แสดงข้อมูลการหาค่าองศาการแทนที่ เทียบจากความเร็วรอบ การปั่นกววนที่ 160 รอบต่อนาที	65
ตารางที่ ค.14 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ เทียบกับการปั่นกววนที่ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที	66
ตารางที่ ค.15 แสดงข้อมูลการหาค่าองศาการแทนที่ เทียบที่ความเร็วรอบ การปั่นกววน 200 รอบต่อนาที	67
ตารางที่ ค.16 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ เทียบกับการปั่นกววนที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที	68
ตารางที่ ค.17 แสดงข้อมูลการหาค่าองศาการแทนที่ เทียบที่ความเร็วรอบ การปั่นกววน 50 รอบต่อนาที	69
ตารางที่ ค.18 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ เทียบกับการปั่นกววนที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที	70

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การไหลในแนวรัศมี (radial-flow) และแนวแกน (axial-flow) ในถังแบบมีครีป	7
รูปที่ 2.2 Anchor agitator	8
รูปที่ 2.3 รูปร่างและส่วนประกอบของถังมาตรฐาน	10
รูปที่ 2.4 แผนผังแสดงระบบควบคุมกำลังบิด	17
รูปที่ 2.6 แสดงหลักการทำงานของเครื่อง Inverter	21
รูปที่ 4.1 แสดงแบบโดยรวมของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร	30
รูปที่ 4.2 แสดงส่วนฝาถังปฏิกรณ์เคมี และแผงติดมอเตอร์	31
รูปที่ 4.3 แสดงตัวถังปฏิกรณ์เคมีส่วนใน	32
รูปที่ 4.4 แสดงใบพัดกวนแบบเคือกม้า	33
รูปที่ 4.5 แสดงครีปภายในถังปฏิกรณ์เคมี	34
รูปที่ 4.6 แสดงแบบขาตั้ง	35
รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลาของการปั่นกวน ที่ความเร็วรอบ 160 กับ 200 รอบต่อนาที ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร เซลลูโลสชนิดเส้นใยจากเยื่อกระดาษ	40
รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังบิดกับเวลาของการปั่นกวน ที่ความเร็วรอบ 160 และ 200 รอบต่อนาที ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร เซลลูโลสชนิดเส้นใยจากเยื่อกระดาษ	41
รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลาของการปั่นกวน ที่ความเร็ว 160 รอบต่อนาที ถังปฏิกรณ์เคมี 2 ลิตร เทียบกับที่ความเร็ว 68.3 รอบต่อนาที ถังปฏิกรณ์เคมี 24.7 ลิตร เซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ	42
รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลาการปั่นกวนที่ ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ถังปฏิกรณ์เคมี 2 ลิตร เทียบกับที่ความเร็ว 85.4 รอบต่อนาที ถังปฏิกรณ์เคมี 24.7 ลิตร เซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ	43
รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลาของการปั่นกวน ที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที ถังปฏิกรณ์เคมี 2 ลิตร เทียบกับที่ความเร็ว 21.5 รอบต่อนาที ถังปฏิกรณ์เคมี 24.7 ลิตร เซลลูโลสชนิดผง	44

	หน้า
รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลาโดยควบคุมกำลังบิดในการปั่นกวนที่ 666 Ncm ถึงปฏิกรณ์เคมี 24.7 ลิตร เทียบกับการปั่นกวนที่ความเร็ว 160 รอบต่อนาที ถึงปฏิกรณ์เคมี 2 ลิตร เซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ	45
รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลาโดยควบคุมกำลังบิดในการปั่นกวนที่ 540 Ncm ถึงปฏิกรณ์เคมี 24.7 ลิตร เทียบกับการปั่นกวนที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ถึงปฏิกรณ์เคมี 2 ลิตร เซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ	46
รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลาโดยควบคุมกำลังบิดในการปั่นกวนที่ 95 Ncm ถึงปฏิกรณ์เคมี 24.7 ลิตร เทียบกับการปั่นกวนที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที ถึงปฏิกรณ์เคมี 2 ลิตร เซลลูโลสชนิดผง	47
รูปที่ ก.1 แสดงแผนผังการต่อวงจร ไฟฟ้า ระบบควบคุมกำลังบิด	51
รูปที่ จ.1 แสดงภาพรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการขยายขนาด	74
รูปที่ จ.2 แสดงภาพตู้ควบคุมกำลังบิดและความเร็วในการปั่นกวน (ขวา) และภาพเครื่องควบคุมอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์เคมี (ซ้าย)	75
รูปที่ จ.3 แสดงภาพตู้ควบคุมกำลังบิดและความเร็วในการปั่นกวน	76
รูปที่ จ.4 แสดงภาพภายในตู้ควบคุมกำลังบิดและความเร็วในการปั่นกวน	77
รูปที่ จ.5 แสดงภาพเครื่องควบคุมอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์เคมี	78
รูปที่ จ.6 แสดงภาพโดยรวมของถังปฏิกรณ์เคมีพร้อมมอเตอร์กระแสสลับ	79
รูปที่ จ.7 แสดงภาพฝาถัง ครีป ใบพัด มอเตอร์ และขาตั้ง	80
รูปที่ จ.8 แสดงภาพตัวถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร	81
รูปที่ จ.9 แสดงภาพถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร พร้อมอ่างควบคุมอุณหภูมิและมอเตอร์	82
รูปที่ จ.10 แสดงภาพเครื่อง โมตี สำหรับย่อยขนาดเซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ	83
รูปที่ จ.11 แสดงภาพภายในเครื่อง โมตี สำหรับย่อยขนาดเซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ	84

สัญลักษณ์

I	: กระแสไฟฟ้า, แอมแปร์
D	: เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด, เมตร
D_T	: เส้นผ่านศูนย์กลางตัง, เมตร
F	: แรงที่กำหนดให้สำหรับขนาดต้นแบบ (m) และขนาดโรงงาน
G	: ความเร่งโน้มถ่วง, เมตร/วินาที ²
q	: ความสูงของใบพัดจากก้นตัง, เมตร
H_L	: ความสูงของของเหลว, เมตร
I	: ความกว้างของแผ่นใบพัด, เมตร
N_{fr}	: ตัวเลขฟรูด, ไร้นหน่วย
N_{po}	: ตัวเลขกำลัง, ไร้นหน่วย
NQ	: ตัวเลขการไหล, ไร้นหน่วย
N_{rs}	: ตัวเลขเรย์โนลด์, ไร้นหน่วย
N_{we}	: ตัวเลขเวเบอร์, ไร้นหน่วย
P	: กำลัง, วัตต์
Q	: อัตราการไหล, ลูกบาศก์เมตร/วินาที
r	: ความยาวของแผ่นใบพัด, เมตร
V	: ปริมาตร, ลูกบาศก์เมตร
V	: แรงเคลื่อนไฟฟ้า, โวลต์
W_B	: ความกว้างของครีบ, เมตร
ρ	: ความหนาแน่น, กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
μ	: ความหนืด, กิโลกรัม/เมตร-วินาที
σ	: ความตึงระหว่างผิว
m	: บอกลถึงค่าที่ใช้กับขนาดทดลอง
p	: บอกลถึงค่าที่ใช้กับขนาดโรงงาน
$\%EFF$: เปอร์เซนต์ของประสิทธิภาพของมอเตอร์, ไร้นหน่วย
PF	: Power Factor, ไร้นหน่วย
RPM	: ความเร็วรอบในการปั่นควรรอบต่อวินาทีล่วงหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- K_c : เกณฑ์การขยายของเครื่องควบคุม
 T_I : Integral time หรือ Reset time, นาที/ครั้ง
 T_D : Derivative time, นาที
 T : กำลังปิด, นิวตัน-เมตร

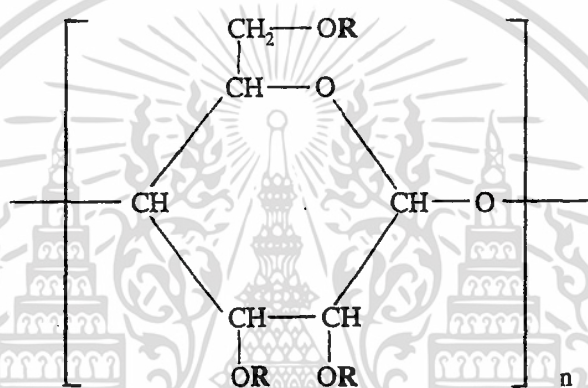


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose , CMC . 1) , [1] โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, Sodium carboxymethylcellulose, CM cellulose gum, carboxymethylcellulose glycolate มีหมายเลข CAS = 9004-32-4 เป็นแอนไอออนิกเซลลูโลสที่ละลายน้ำ มีสูตรโครงสร้างดังรูป



$R = \text{H}$ หรือ $\text{CH}_2\text{COO}^- \text{Na}^+$

n คือ ความยาวโซ่เฉลี่ยของเม็ทิลโครโมเลกุล มีค่าประมาณ 100 ถึง 200

ค่าที่แสดงจำนวนกลุ่ม $\text{CH}_2\text{COO}^- \text{Na}^+$ ที่แทนที่ไฮโดรเจนต่อ 1 หน่วยเรียกว่า ค่าองศาการแทนที่ (degree of substitution , DS) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 3 แต่ที่ผลิตได้ในปัจจุบันมีค่าองศาการแทนที่ระหว่าง 0.4-1.5 เท่านั้น

คุณสมบัติของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นดังนี้

- โดยมากเป็นสารสีขาวตามสีของเซลลูโลส เมื่อละลายน้ำจะใสไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นอันตราย
- คงตัวในสภาวะที่มีความเป็นกรดต่างประมาณ 2.0-10.0 (pH ~ 2.0-10.0)
- น้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 2,100 ถึง 500,000
- ละลายในน้ำ ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายในสารละลายผสมระหว่างน้ำ กับตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำ เช่น เอทานอล หรือ แอซีโตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 6.5-8.0 (pH ~ 6.5-8.0)
- เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายที่มีความหนืดต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้น อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง และค่าความยาวโซ่เฉลี่ยของเม็กโครโมเลกุล (Macromolecule , n)
- คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ที่มีค่าองศาการแทนที่ต่ำกว่า 0.1 จะไม่ละลายน้ำ และไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ถ้าค่าองศาการแทนที่สูงกว่า 0.2 จะละลายน้ำ แต่ยังไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นสารที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น

- อุตสาหกรรมอาหาร เป็นสารป้องกันการตกผลึกของน้ำตาล เป็นสารทำให้ข้นในน้ำสลัดหรือเครื่องดื่มน้ำ และเป็นสารทำให้เป็นวุ้นในเยลลี่ เป็นต้น
- อุตสาหกรรมยา ใช้เคลือบเม็ดยาเพื่อการคงตัว และใช้เป็นสารควบคุมการออกฤทธิ์ของยา เป็นต้น
- อุตสาหกรรมโพลีเมอร์ ใช้เป็นสารป้องกันการแยกตัว และสารช่วยทำให้การแขวนลอยคงตัว ในปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์ ของโมโนเมอร์ไวนิลคลอไรด์
- อุตสาหกรรมน้ำมัน ใช้เป็นสารผสมทำดิน สำหรับหล่อลื่นเครื่องขุดเจาะน้ำมัน เนื่องจาก คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส สามารถอุ้มน้ำได้ปริมาณสูง จึงทำให้การแขวนลอยของดินคงตัว เป็นต้น

การผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในอุตสาหกรรมจะใช้ถังปฏิกรณ์เคมีขนาดใหญ่ เพื่อให้ได้ผลผลิตจำนวนมาก และต้องมีการควบคุมตัวแปรที่สำคัญเพื่อให้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตได้มีคุณสมบัติตามต้องการ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงต้นทุนในการผลิตประกอบด้วย ดังนั้นจึงมีการศึกษาและทำการทดลองกับถังปฏิกรณ์เคมีขนาดเล็กก่อน เพื่อทราบสถานะของกระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ให้มีคุณสมบัติตามต้องการ แล้วจึงนำผลการทดลองที่ได้จากถังปฏิกรณ์เคมีขนาดเล็กมาเทียบผลขยายขนาด เพื่อทำการผลิตในถังปฏิกรณ์เคมีขนาดใหญ่ต่อไป

การศึกษาระยะการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เพื่อหาตัวแปรสำคัญในการขยายขนาดของถังปฏิกรณ์เคมีนั้น ได้มีผู้ทำการศึกษาในปี พ.ศ. 2536 [2] โดยทำการออกแบบถังปฏิกรณ์เคมีต้นแบบขนาด 2 ลิตร และทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างใบพัดกวน 2 ชนิด คือ Anchor agitator และ Flat blade turbine พบว่า ใบพัดแบบ Anchor agitator มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ดีกว่า

นอกจากนี้การศึกษาตัวแปรสำคัญในการขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมี อันได้แก่ กำลังบิด กำลังต่อปริมาตร และความเร็วปลายของใบพัดกวน ด้วยการแปลงค่าของกำลังและความเร็วรอบ

ของใบพัดคววน แล้วทำการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าองศาการแทนที่ ณ เวลาต่างๆ กับ กำลังบิด กำลังต่อปริมาตร และความเร็วยวปลาย พบว่าตัวแปรเหมาะสมในการขยายขนาดถึงปฏิกรณ์เคมี คือ กำลังบิด (torque) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังบิดเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้พารามิเตอร์อื่นๆ เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน จึงเหมาะกับการใช้เป็นเกณฑ์ในการขยายขนาดของถังปฏิกรณ์เคมี สำหรับอัตราส่วนโดยปริมาตรของสารละลายต่อเซลล์ูโลสที่เหมาะสม ซึ่งให้ค่าองศาการแทนที่สูงสุดประมาณ 15:1

ต่อมาในปี พ.ศ.2537 [3] ได้มีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับ ความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรต่างๆ คือ แรงบิด กำลังบิด กำลังต่อปริมาตร ตัวเลขเรย์โนลด์ และ ความเร็วรอบ โดยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การศึกษากับถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร และ ใช้ใบพัดแบบ Anchor ที่ความเร็วรอบของการปั่นคววนต่างๆ คือ 50 , 75 , 100 , 200 , และ 300 รอบต่อนาที พบว่าในช่วง 50-75 รอบต่อนาที เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการนำมาศึกษาต่อ เนื่องจากเป็นขีดจำกัดของความเร็วยวรอบที่มีผลต่อค่าองศาการแทนที่ นั่นคือเมื่อความเร็วยวรอบในการปั่นคววนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ค่าองศาการแทนที่จะเปลี่ยนแปลงอย่างมาก

2. การศึกษาและออกแบบถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร โดยใช้กำลังบิดเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด พบว่าที่ความเร็วยวรอบเท่ากับ 35.57 รอบต่อนาที ของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร จะให้ค่าองศาการแทนที่ใกล้เคียงกับการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ที่ความเร็วยวรอบ 300 รอบต่อนาที แต่เมื่อทำการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร ที่ความเร็วยวรอบต่ำกว่านี้ ผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลจากการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร สรุปได้ว่า กำลังบิดเป็นตัวแปรที่เหมาะสมกับการขยายขนาดที่ความเร็วยวรอบสูงเท่านั้น

ดังนั้น จึงมีการเสนอตัวแปรที่เหมาะสมในการขยายขนาดถึงปฏิกรณ์เคมีขึ้นมาอีกตัวหนึ่งก็คือ กำลังบิดต่อปริมาตร

โครงการพิเศษนี้จึงทำการศึกษาผลของกำลังบิดต่อปริมาตรที่มีต่อการขยายขนาดถึงปฏิกรณ์เคมี ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เพื่อระบุว่ากำลังบิดต่อปริมาตรมีผลอย่างไรต่อการนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการขยายขนาดถึงปฏิกรณ์เคมี ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและทดลองผลของกำลังบิดต่อปริมาตรที่มีต่อการขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมี ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยอาศัยผลจากห้องปฏิบัติการสู่การผลิตในระดับอุตสาหกรรม
2. ออกแบบและสร้างถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร รวมถึงการออกแบบระบบควบคุมกำลังบิดในการกวน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มทักษะและความรู้ทางด้านงานขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมีโดยใช้หลักความคล้ายเชิงเรขาคณิต (geometric similarity) และความคล้ายเชิงพลศาสตร์ (dynamic similarity)
2. เพิ่มทักษะและความรู้ในด้านระบบควบคุม (control system) ของกระบวนการผลิต เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรม
3. เป็นจุดเริ่มต้นที่ดีของการศึกษาวิจัยการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์ในการผลิตระดับอุตสาหกรรม
4. เป็นการเพิ่มทักษะการวางแผนงาน และการดำเนินงานในด้านต่างๆ เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุจุดมุ่งหมายตามที่ไดวางไว้ ภายในระยะเวลาที่กำหนด
5. เป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรม และการพัฒนางานทางด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีของประเทศไทย

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษา ออกแบบ สร้าง และหาอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็น สำหรับถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฟสทรานสเฟอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้
 - 1.1. ทำการศึกษา ออกแบบ และสร้างถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร
 - 1.2. ทำการศึกษาระบบควบคุมการกวนของมอเตอร์ โดยทำการควบคุมที่ ค่ากำลังบิด และค่ากำลังบิดต่อปริมาตร ให้คงที่ตลอดการศึกษา
2. ศึกษาผลของกำลังบิดต่อปริมาตรที่มีต่อการขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมีในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

2.1. ดำเนินการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ด้วยถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร เซลลูโลสที่นำมาสังเคราะห์มี 2 ชนิดคือ เซลลูโลสจากเชื้อกระดาษมีลักษณะเป็นเส้นใยละเอียด กับ เอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลสชนิดผง เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้เปรียบเทียบกับสารสังเคราะห์ด้วยดังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร

2.2. ดำเนินการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ด้วยดังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร โดยใช้กำลังบิดต่อปริมาตร เป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด แบ่งการควบคุมเป็นสองส่วนคือควบคุมที่ความเร็วรอบในการปั่นกวน กับควบคุมที่กำลังบิดในการปั่นกวน เปรียบเทียบผลที่ได้กับผลจากดังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร สรุปผลที่เกิดจากการใช้กำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด เพื่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1. การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

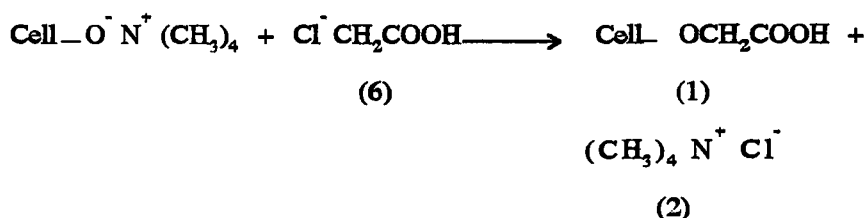
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาการเกิดอีเทอร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฟสทรานสเฟอร์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือเตตระเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Tetramethyl Ammonium Chlorine , 2) ปฏิกิริยาเกิดระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH , 3) ในวัฏภาคน้ำ กับเซลลูโลส (Cellulose , 4) ในวัฏภาคสารอินทรีย์ วัฏภาคสารอินทรีย์คือตัวทำละลายไอโซโพรพานอล (Isopropanol , 5) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเตตระเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นสารนำพาระหว่างสองวัฏภาค เมื่อเซลลูโลสทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วจะทำปฏิกิริยาการเกิดอีเทอร์กับสารละลายกรดคลอโรแอซิดในไอโซโพรพานอล (Chloroacetic Acid , 6) จากนั้นทำให้สารละลายมีฤทธิ์เป็นกลางด้วยกรดเพื่อหยุดปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยมีโซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมไกลคอลเลตเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยา นำคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ได้จากปฏิกิริยาทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ เมทานอล เอทานอล หรือเอซีโตน สกัดแยกเกลือโซเดียมทั้งสอง

สมการการเกิดปฏิกิริยาสามารถเขียนได้ดังนี้

1. Phase Transfer Reaction



3. Etherification



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. การกวน (agitation)

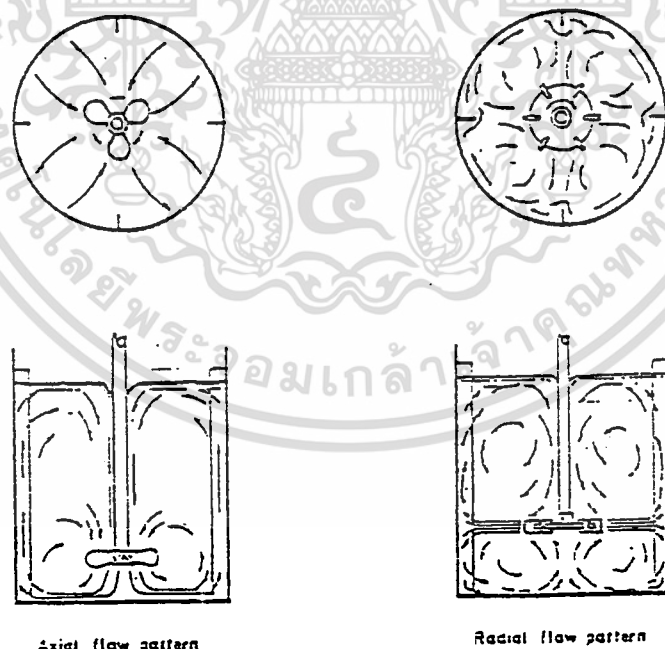
การกวนเป็นกระบวนการที่ทำให้ของไหลรวมเป็นเนื้อเดียวกันหรือทำให้ของแข็งที่แขวนลอยอยู่แตกออกและละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นการเหนี่ยวนำให้สารเกิดการเคลื่อนไหว เช่น การไหลเป็นวงกลมในภาชนะที่บรรจ

1. ชนิดของถังกวน

ถังกวนแบบมีครีป (baffled tank)

ใช้ในการกวนของเหลวที่ต้องการการไหลวนอย่างรุนแรง ทั้งในแนวนานกับแกนหมุนและแนวรัศมี โดยไม่เกิดผิวเว้า ดังรูปที่ 2.1 ปกติถังชนิดนี้จะมีครีป 4 อัน มีความกว้างเป็น $1/10$ เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง ระดับของเหลวในถังจะสูงประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง ใบพัดมีขนาด $1/3$ เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ถังกวนแบบมีครีป เนื่องจากถังกวนชนิดนี้ทำให้เกิดการไหลวนอย่างรุนแรงทำให้อนุภาคของเซลล์ไลสกระจายตัวได้ดีกว่า ส่งผลให้พื้นที่ผิวสัมผัสในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจึงลดลง



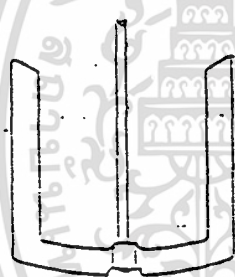
รูปที่ 2.1 การไหลในแนวรัศมี (radial-flow) และแนวแกน (axial-flow) ในถังแบบมีครีป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

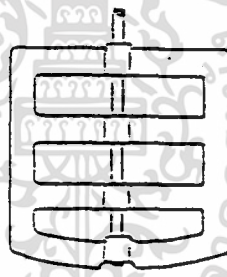
2. ใบพัดกวน

เป็นตัวสร้างรูปแบบการไหลในระบบ ทำให้ของเหลวไหลหมุนเวียนรอบภาชนะและไหลเข้าสู่ใบพัด วนเวียนไปมาเช่นนี้ ในพัดกวนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามการทำงาน ดังรูปที่ 2.1 คือ ชนิดที่ทำงานให้กระแสไหลในแนวที่ขนานกับแกนหมุน (shaft) เรียกว่าชนิด axial-flow impellers เช่น พกใบพัดเรือ (marine type impeller) และอีกชนิดหนึ่งทำงานให้กระแสไหลในแนวที่ตั้งฉากกับแกนหรือในแนวรัศมี เรียกว่าชนิด radial-flow impellers เช่น พกใบพาย (paddles) และพวกเทอร์ไบน์ (turbine) สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ใช้ใบพัดประเภท Paddle แบบ Anchor agitator ชนิดเกือกม้า (Horseshoe)

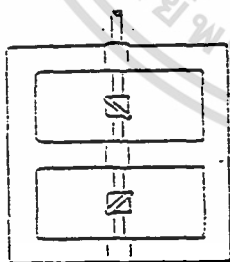
Anchor agitator มีใบแบนราบสี่เหลี่ยมผืนผ้าติดอยู่บนแกนหมุนที่ตั้งในแนวตั้ง โดยทั่วไปใช้ใบพัด 2 หรือ 4 ใบ ติดเป็นมุมฉากออกมา ใบพัดชนิดนี้จะหมุนในอัตราเร็วจากข้างถึงปานกลาง ดังรูปที่ 2.2



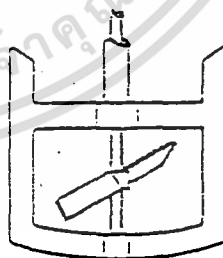
Horseshoe



Horseshoe with cross-members



Horseshoe with paddles



Double motion horseshoe-paddle

รูปที่ 2.2 Anchor agitator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

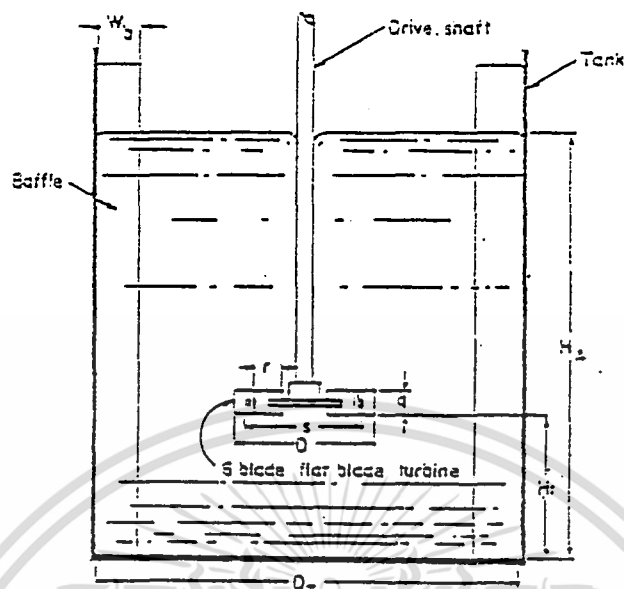
2.3. ถังมาตรฐาน (Standard Tank Configuration)

ถังมาตรฐานที่พบในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปมีรูปร่างและส่วนประกอบดังรูปที่ 2.3 ถังมาตรฐานจะช่วยให้การผสมกันของสารในถังเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์สำหรับการใช้งานต่างๆตามที่ต้องการ แต่รูปแบบของถังมาตรฐานก็ไม่ใช้รูปแบบที่แน่นอนตายตัว เพราะในบางโอกาสลักษณะของถังแบบนี้อาจจะไม่ใช่รูปแบบที่ดีที่สุดในการนำไปใช้งานในบางสภาวะ เช่น การผสมของเหลวกับแก๊สซึ่งมีของแข็งปนอยู่ในปริมาณมาก ในระบบที่มีความหนืดสูง หรือระบบที่มีความไวต่อแรงเฉือน ซึ่งรูปแบบของถังมาตรฐานแบบนี้อาจจะไม่ใช่รูปแบบที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่เราต้องการก็ได้

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างส่วนประกอบของถังมาตรฐาน

รายละเอียด	สัญลักษณ์	ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิต
1. เส้นผ่านศูนย์กลางถัง(ภายใน)	D_T	$1.0 D_T$
2. รัศมีความโค้งของก้นถัง	R_T	$0.9 D_T$
3. ความสูงของถัง	H_T	$>1.15 D_T$
4. ความสูงของของเหลวภายในถัง	H_L	$1.0 D_T$
5. ความหนาของถัง ครีปและใบพัด	T	
6. ความกว้างของครีป	W_B	$0.1 D_T$
7. ใบพัดชนิด Anchor agitator (2 ใบ)		
-เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด	D	$\sim 0.94 D_T$
-ความสูงของแผ่นใบพัด	I	$\sim 1.0 D_T$
-ความกว้างของแผ่นใบพัด	q	$0.1 D$
-ความสูงของใบพัดจากก้นถัง		$(0.01-0.05) D$
-จำนวนครีปใบพัด		2 อัน
-ความยาวของครีปใบพัด		$> D_T$
-ระยะห่างของครีปถึงกับครีปใบพัด		$(0.01-0.05) D$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 รูปร่างและส่วนประกอบของถังมาตรฐาน

2.4. การขยายขนาด (Scale Up)

การขยายขนาดของถังปฏิกรณ์เคมี เพื่อผสมสารให้มีคุณสมบัติเหมือนกันในเวลาที่เท่ากัน กับถังปฏิกรณ์เคมีขนาดเล็กนั้นมีปัญหาคือ อัตราการผสมสารให้ไหลเวียนต่อหน่วยปริมาตรไม่เท่ากันเมื่อให้ขนาดของใบพัดกับขนาดของถังมีสัดส่วนเดียวกัน โดยใช้พลังงานกวัตตต่อปริมาตรเท่ากัน ดังนั้นจึงต้องเลือกให้พลังงานต่อปริมาตรมากขึ้น หรือใช้เวลาผสมนานขึ้น

การออกแบบในการขยายขนาด เพื่อให้การทำงานได้ผลดีที่สุดสำหรับถังปฏิกรณ์เคมีขนาดโรงงาน (prototype , p) จะต้องใช้ข้อมูลจากถังปฏิกรณ์เคมีขนาดทดลอง (model , m) มาช่วยพิจารณาด้วย โดยเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างถังปฏิกรณ์เคมีขนาดทดลอง กับขนาดโรงงาน

2.4.1. การศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมี

การศึกษปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะมีผลต่อการทำปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์เคมีแบบกวน (stirred tank reactor , STR) มักจะทำการศึกษากับถังปฏิกรณ์เคมีขนาดเล็ก ก่อนที่จะนำผลที่ได้จากการศึกษาไปปฏิบัติในถังปฏิกรณ์เคมีขนาดใหญ่ ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีเกณฑ์ในการขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมีเพื่อที่จะใช้ในการทำนายผลของกระบวนการในอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่

ขึ้น โดยปกติแล้วกระบวนการแต่ละชนิดจะมีวิธีการในการขยายเพียงวิธีเดียว การขยายขนาดจะอาศัยหลักความคล้ายของลักษณะใดลักษณะหนึ่งดังนี้

1. ความคล้ายเชิงเรขาคณิต (Geometric similarity)
2. ความคล้ายเชิงพลศาสตร์ (Dynamic similarity)
3. ความคล้ายเชิงความเร็ว (Kinematic similarity)

ความคล้ายเชิงเรขาคณิต หมายถึง ทุกๆ มิติที่เกี่ยวข้องกันจะมีลักษณะเหมือนกัน และมีอัตราส่วนร่วมกันอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$X_m/X_p = X_r \quad (2.1)$$

เมื่อ X_m = ขนาดของตั้งต้นแบบ
 X_p = ขนาดของตั้งโรงงาน
 X_r = อัตราส่วนร่วม

ความคล้ายเชิงพลศาสตร์ หมายถึง ทุกๆ อัตราส่วนของแรงจะมีอัตราส่วนร่วมทั่วไปอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$(F_r)_m/(F_r)_p = (F_v)_m/(F_v)_p = (F_o)_m/(F_o)_p = (F_\sigma)_m/(F_\sigma)_p = F_r \quad (2.2)$$

เมื่อ F แทนแรงที่กำหนด
 I อ้างอิงเป็นแรงเฉื่อย
 V อ้างอิงเป็นความหนืด
 G อ้างอิงเป็นแรงโน้มถ่วง
 σ อ้างอิงเป็นความตึงระหว่างผิว

ความคล้ายเชิงความเร็ว หมายถึง ทุกความเร็วในตั้งปฏิกรณ์เคมีสองขนาดจะมีอัตราส่วนร่วมอยู่ค่าหนึ่ง

2.4.2. การขยายขนาดโดยใช้ความคล้ายเชิงเรขาคณิตและความคล้ายเชิงพลศาสตร์

แนวความคิดของการขยายขนาดโดยอาศัยความคล้ายเชิงพลศาสตร์ จะใช้กลุ่มของตัวเลขไร้มิติคือ

1. Renolds number ซึ่งเป็นอัตราส่วนของแรงเฉื่อย (inertia force) ต่อแรงหนืด (viscous force)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_{Re} = F_f/F_v = ND^2 \rho/\mu$$

2. Froude number เป็นอัตราส่วนของแรงเฉื่อยต่อแรงโน้มถ่วง (gravity force)

$$N_{Fr} = F_f/F_G = ND^2/G$$

3. Weber number เป็นอัตราส่วนของแรงเฉื่อยต่อความตึงผิว (interfacial force)

$$N_{We} = F_f/F_\sigma = N^2 D^3 \rho/\sigma$$

4. Power number

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

5. Flow number

$$N_Q = Q/ND^3$$

จากหลักของความคล้ายเชิงพลศาสตร์ ดังที่แสดงในสมการ 2.2 จะได้ว่า สำหรับถึงปฏิบัติการเคมีต้นแบบและขนาดโรงงาน ค่าตัวเลขไร์หน่วยเหล่านี้จะมีค่าเท่ากันนั่นคือ

$$(N_{Fr})_p = (N_{Fr})_m \quad (N_{Re})_p = (N_{Re})_m$$

$$(N_p)_p = (N_p)_m \quad (N_{We})_p = (N_{We})_m$$

$$(N_Q)_p = (N_Q)_m$$

2.4.3. การหาเกณฑ์ในการขยายขนาดโดยใช้หลักความคล้ายเชิงเรขาคณิต ร่วมกับหลักความคล้ายเชิงพลศาสตร์

การศึกษาครั้งนี้จะอาศัยหลักความคล้าย 2 หลักมาพิจารณารวมกันคือ ความคล้ายเชิงเรขาคณิต และความคล้ายเชิงพลศาสตร์

เมื่ออาศัยหลักความคล้ายเชิงเรขาคณิตจะได้

$$(V_T)_p/(V_T)_m = 0.92(D_T)_p^3/0.92(D_T)_m^3 = (D_T)_p^3/(D_T)_m^3 = k \quad (2.3)$$

จากสมการที่ 2.3 จะได้

$$(D_T)_p^3 = k(D_T)_m^3$$

$$\therefore (D_T)_p = k^{(1/3)}(D_T)_m^3 \quad (2.4)$$

สำหรับใบพัดแบบ Anchor $D = 0.94D_T$ ส่วนใบพัดชนิดอื่น $D = 0.1D_T$

ดังนั้น สมการที่ 2.4 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$D_p = k^{(1/3)}D_m \quad (2.5)$$

จากความคล้ายเชิงพลศาสตร์

$$(N_p)_m = (N_p)_p$$

$$\therefore P_p/N_p^3 D_p^5 \rho_p = P_m/N_m^3 D_m^5 \rho_m \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสารในถังที่เป็นชนิดเดียวกัน $\rho_p = \rho_m$ ดังนั้นจากสมการที่ 2.6 จะได้

$$P_p/P_m = N_p^3 D_p^5 / N_m^3 D_m^5 \quad (2.7)$$

นำค่า D_p จากสมการที่ 2.5 มาแทนในสมการที่ 2.7 จะได้

$$\begin{aligned} P_p/P_m &= N_p^3 k^{(5/3)} D_m^5 / N_m^3 D_m^5 \\ \therefore P_p/P_m &= N_p^3 k^{(5/3)} / N_m^3 \end{aligned} \quad (2.8)$$

สำหรับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ $(N_{Re})_p = (N_{Re})_m$

$$\therefore N_p D_p^2 \rho_p / \mu_p = N_m D_m^2 \rho_m / \mu_m \quad (2.9)$$

เนื่องจากเป็นสารระบบเดียวกัน $(\rho_p / \mu_p = \rho_m / \mu_m)$ ดังนั้นสมการที่ 2.9 สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$N_p / N_m = D_m^2 / D_p^2 \quad (2.10)$$

จากสมการที่ 2.5 $D_p = k^{(1/3)} D_m$ แทนค่า D_p ลงในสมการที่ 2.10 จะได้

$$\boxed{N_p / N_m = k^{(-2/3)}} \quad (2.11)$$

\therefore เมื่อกำหนดให้เกณฑ์ในการขยายขนาดถึงปฏิกรณ์เคมีเป็น ตัวเลขเรย์โนลด์ ความเร็วของใบพัดในถังปฏิกรณ์เคมีขนาดโรงงานจะมีค่าเป็น $k^{(-2/3)}$ เท่าของความเร็วของใบพัดในถังปฏิกรณ์เคมีต้นแบบ

การหาสูตรทั่วไปเมื่อต้องการกำหนดให้ค่ากำลังต่อปริมาตร (P/V) เป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด จากสมการที่ 2.8

$$P_p/P_m = N_p^3 k^{(5/3)} / N_m^3 \quad (2.8)$$

จะได้

$$(P/V)_p / (P/V)_m = N_p^3 V_m k^{(5/3)} / N_m^3 V_p \quad (2.12)$$

แทนค่า V_p จากสมการที่ 2.3 ในสมการที่ 2.12 จะได้

$$\begin{aligned} (P/V)_p / (P/V)_m &= N_p^3 V_m k^{(5/3)} / N_m^3 V_m k \\ &= N_p^3 k^{(2/3)} / N_m^3 \\ (P/V)_p / (P/V)_m &= N_p^3 k^{(2/3)} / N_m^3 \end{aligned} \quad (2.13)$$

เมื่อให้ค่ากำลังต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด $[(P/V)_p = (P/V)_m]$ ดังนั้นจากสมการที่ 2.13 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} N_p^3 &= k^{(-2/3)} N_m^3 \\ \therefore \boxed{N_p} &= k^{(-2/9)} N_m^3 \end{aligned} \quad (2.14)$$

\therefore เมื่อกำหนดให้ค่ากำลังต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด ความเร็วรอบของใบพัดในถังปฏิกรณ์เคมีขนาดโรงงานจะมีค่าเป็น $k^{(-2/9)}$ เท่าของความเร็วรอบของถังปฏิกรณ์เคมีต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาสูตรทั่วไปเมื่อต้องการกำหนดให้ค่ากำลังบิด (P/N) เป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด จากสมการที่ 2.8

$$P_p/P_m = N_p^3 k^{(5/3)} / N_m^3 \quad (2.8)$$

จะได้

$$(P/N)_p / (P/N)_m = k^{(5/3)} (N_p/N_m)^2 \quad (2.15)$$

เมื่อกำหนดให้กำลังบิดเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด $[(P/N)_p = (P/N)_m]$ ดังนั้นจากสมการที่ 2.15 จะได้

$$N_p^2 = k^{(-5/3)} N_m^2$$

$$\therefore N_p = k^{(-5/6)} N_m \quad (2.16)$$

\therefore เมื่อกำหนดให้ค่ากำลังบิดเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด ความเร็วรอบของใบพัดในถังปฏิกรณ์เคมีขนาดโรงงาน จะมีค่าเป็น $k^{(-5/6)}$ เท่าของความเร็วรอบของใบพัดในถังปฏิกรณ์เคมีต้นแบบ

การหาสูตรทั่วไปเมื่อต้องการกำหนดให้ค่ากำลังบิดต่อปริมาตร $[(P/N)/V]$ เป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด จากสมการที่ 2.13

$$(P/V)_p / (P/V)_m = N_p^3 k^{(2/3)} / N_m^3 \quad (2.13)$$

จะได้

$$[(P/N)/V]_p / [(P/N)/V]_m = k^{(2/3)} (N_p/N_m)^2 \quad (2.17)$$

เมื่อให้ค่ากำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด $\{ [(P/N)/V]_p = [(P/N)/V]_m \}$ ดังสมการที่ 2.14 จะได้

$$N_p^2 = k^{(-2/3)} N_m^2$$

$$\therefore N_p = k^{(-1/3)} N_m \quad (2.18)$$

นำค่า N_p จากสมการที่ 2.18 ไปแทนค่าในสมการที่ 2.13 จะได้

$$(P/V)_p / (P/V)_m = k^{(-1/3)}$$

$$\therefore (P/V)_p = k^{(-1/3)} (P/V)_m \quad (2.19)$$

นำค่า N_p จากสมการที่ 2.18 ไปแทนค่าในสมการที่ 2.15 จะได้

$$(P/N)_p / (P/N)_m = k$$

$$\therefore (P/N)_p = k(P/N)_m \quad (2.20)$$

นำค่า N_p จากสมการที่ 2.18 ไปแทนค่าในสมการที่ 2.8 จะได้

$$P_p/P_m = k^{(2/3)}$$

$$\therefore P_p = k^{(2/3)} P_m \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∴ เมื่อกำหนดให้ค่ากำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด $\{(P/N)/V\}_p = [(P/N)/V]_m$ } ได้ผลดังนี้

$$\begin{aligned} N_p &= k^{(-1/3)} N_m, & (P/V)_p &= k^{(-1/3)} (P/V)_m \\ P_p &= k^{(2/3)} P_m, & (P/N)_p &= k(P/N)_m \end{aligned}$$

จากสมการที่ 2.8 , 2.11 , 2.13 , 2.14 , 2.16 , 2.18 , 2.19 , 2.20 , และ 2.21 นำมาคำนวณทั่วไปสำหรับการขยายขนาด เมื่อกำหนดให้ค่าตัวแปรต่างๆ เหล่านี้มีค่าคงที่คือ กำลังต่อปริมาตร กำลังบิด ความเร็วรอบ ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ ความเร็วปลายใบพัด และค่ากำลังบิดต่อปริมาตร จะได้ตัวคูณทั่วไปสำหรับการขยายขนาดดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงแฟกเตอร์ที่ใช้เป็นตัวคูณในการขยายขนาด

ตัวแปร	ถึงปฏิบัติการ เคมีต้นแบบ (model, m)	แฟกเตอร์สำหรับใช้เป็นตัวคูณเพื่อหาค่าตัวแปรในถึงปฏิบัติการ ขนาดโรงงาน (prototype, p)						
		P/V	N	N_{Re}	P/N	(P/N)/V	ND	P
P/V	1	1	$k^{-2/9}$ _[1]	$k^{4/9}$	$k^{11/9}$	$k^{2/9}$	$k^{1/9}$	k
N	1	$k^{2/3}$	1	$k^{1/3}$	$k^{5/3}$	$k^{2/3}$	$k^{1/3}$	$k^{5/3}$
N_{Re}	1	$k^{-4/3}$	$k^{2/3}$ _[2]	1	$k^{1/3}$	$k^{-2/3}$	$k^{-1/3}$	$k^{-1/3}$
P/N	1	$k^{-11/6}$	$k^{-5/6}$ _[3]	$k^{-1/3}$	1	k^{-1}	$k^{-1/2}$	$k^{-5/6}$
(P/N)/V	1	$k^{-1/3}$ _[4]	$k^{-1/3}$ _[5]	$k^{1/3}$	$k^{1/6}$ _[6]	1	1	$k^{2/3}$ _[7]
ND	1	$k^{-1/3}$	$k^{-1/3}$	$k^{1/3}$	k	1	1	$k^{2/3}$

หมายเหตุ [1] สมการที่ 2.14 [2] สมการที่ 2.11
 [3] สมการที่ 2.16 [4] สมการที่ 2.19
 [5] สมการที่ 2.18 [6] สมการที่ 2.20
 [7] สมการที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5. ระบบควบคุมกำลังบิดของมอเตอร์

การศึกษาหาเกณฑ์สำคัญในการขยายขนาดตั้งปฏิกรณ์เคมี จากการศึกษาในปี พ.ศ.2537 [3] ได้เสนอว่ากำลังบิดต่อปริมาตรน่าจะเป็นเกณฑ์สำคัญในการขยายขนาดตั้งปฏิกรณ์เคมี โดยควบคุมให้มีกำลังบิดต่อปริมาตรคงที่ตลอดทุกๆ ขนาดของตั้งปฏิกรณ์เคมีที่ขยายขนาดขึ้นมา การควบคุมกำลังบิดต่อปริมาตรให้คงที่นั้น จะควบคุมที่ กำลังบิดในปั่นกววนแทน โดยกำลังบิดในการควบคุม นั้น คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$T_p = k * T_m \quad (2.22)$$

เมื่อ T_p คือ กำลังบิดในการปั่นกววนของตั้งปฏิกรณ์เคมีขนาดโรงงาน
 T_m คือ กำลังบิดในการปั่นกววนของตั้งปฏิกรณ์เคมีขนาดต้นแบบ
 k = $\frac{\text{ขนาดของตั้งปฏิกรณ์เคมีขนาดโรงงาน}}{\text{ขนาดของตั้งปฏิกรณ์เคมีขนาดต้นแบบ}}$

การควบคุมกำลังบิดในการปั่นกววนให้คงที่ตลอดการเกิดปฏิกิริยา จะควบคุมที่ค่าความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ เนื่องจากกำลังบิดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังที่มอเตอร์กระทำกับระบบ (Output Power) และจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความเร็วรอบในการปั่นกววน ดังสมการ [4]

$$T \propto P / N \quad (2.23)$$

เมื่อ T คือ กำลังบิด (Torque)
 P คือ กำลังในการปั่นกววน (Output Power)
 N คือ ความเร็วเชิงมุม ในหน่วยรอบต่อนาที

โดยที่กำลังในการปั่นกววน สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้ [5]

$$\text{Output Power (watts)} = \frac{V * I * P.F. * \%EFF}{57.735} \quad (2.24)$$

เมื่อ V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ย (volt)
 I คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (amp)
 $P.F.$ คือ Power Factor ของมอเตอร์ที่ใช้
 $\%EFF$ คือ เปรอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพมอเตอร์

จากสมการที่ 2.24 ตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังในการปั่นกวนคือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า และปริมาณกระแสไฟฟ้า โดยทั่วไประบบควบคุมมอเตอร์ (Inverter) จะควบคุมให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าคงที่ ดังนั้นกำลังในการปั่นกวน (Output Power) จะแปรผันตรงกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพียงค่าเดียว

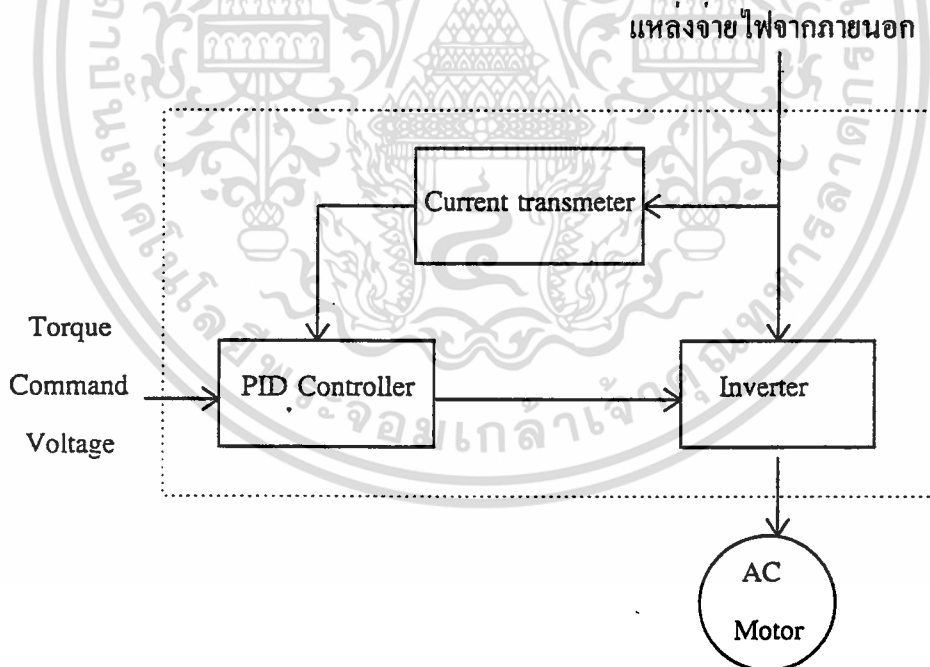
จากสมการที่ 2.23 กำลังบิดในการปั่นกวนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ กำลังในการปั่นกวน ซึ่งกำลังในการปั่นกวนสาร แปรผันตรงกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพียงตัวแปรเดียว ดังนั้นกำลังบิดในการปั่นกวน จึงแปรผันตรงกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพียงตัวแปรเดียวเช่นกัน

กำลังบิดของมอเตอร์สามารถคำนวณดังสมการดังนี้ [5]

$$\text{กำลังบิด (Nm)} = \frac{V * I * P.F. * \%EFF}{6.0464 * \text{RPM}} \quad (2.25)$$

เมื่อ RPM คือ ความเร็วรอบในการปั่นกวน (รอบต่อนาที)

จากเหตุผลต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น ระบบควบคุมกำลังบิดในการปั่นกวน จึงมีหลักในการทำงานดังนี้



รูปที่ 2.4 แผนผังแสดงระบบควบคุมกำลังบิด

ระบบควบคุมกำลังบิดมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. **Current Transmeter (CT)** มีหน้าที่วัดค่าความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายไฟภายนอกก่อนเข้าเครื่อง Inverter แล้วเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เป็นกระแสมาตรฐาน หรือ สัญญาณมาตรฐาน (Standard Signal) ในช่วง 4-20 mA หรือ 1-5 V สัญญาณมาตรฐานที่ได้จะส่งต่อไปยังระบบควบคุม (PID Control) ทำการควบคุมต่อไป

เหตุที่วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในตำแหน่งก่อนเข้าเครื่อง Inverter เนื่องจากเครื่อง Inverter มีหลักในการควบคุมมอเตอร์โดยจำกัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟภายนอก ให้มีค่าที่เป็นสัดส่วนเดียวกับ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ Inverter ป้อนให้กับ Motor ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดของหลักการการทำงานของเครื่อง Inverter ภายหลัง อีกเหตุผลหนึ่งคือ ค่าความต่างศักย์ที่วัดในจุดนี้เป็นสัญญาณที่เรียบ ไม่เกิดการแกว่งเหมือนสัญญาณที่ออกจาก Inverter ซึ่งส่งผลให้สัญญาณมาตรฐานที่ CT วัดได้มีความถูกต้องมากขึ้น

2. **PID Controller** ทำหน้าที่รับสัญญาณมาตรฐานที่ส่งมาจาก Current Transmeter ในลักษณะความต่างศักย์ไฟฟ้า 1-5 V มาเทียบเป็นผลต่างกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตั้งไว้ (Torque Command Voltage) จากนั้นนำผลต่างที่ได้ไปคำนวณด้วยระบบ Proportional-Integral-Derivative Control ผลที่ได้จากการคำนวณจะอยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นสัญญาณควบคุมส่งไปควบคุมการทำงานของ Inverter ต่อไป

การควบคุมด้วยระบบ PID Controller [6] มีหลักการคำนวณซึ่งจะกล่าวที่ละส่วนดังนี้

2.1 Proportion Control

การควบคุมด้วยระบบ proportion เพียงอย่างเดียว เป็นระบบที่ควบคุมอย่างง่ายที่สุด มีสมการที่ใช้อธิบายลักษณะทำงานดังนี้

$$m(t) = b + K_C \cdot [r(t) - c(t)] \quad (2.26)$$

$$m(t) = b + K_C \cdot e(t) \quad (2.27)$$

เมื่อ $m(t)$ คือ สัญญาณควบคุม ซึ่งเป็นสัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องควบคุม , mA

$r(t)$ คือ ค่าเป้าหมาย ในที่นี้คือ Torque Command Voltage , V หรือ mA

$c(t)$ คือ ตัวแปรควบคุม หรือตัวแปรกระบวนการ ซึ่งได้มาจากเครื่องส่งสัญญาณมาตรฐาน ในที่นี้คือเครื่อง CT , V หรือ mA

$e(t)$ คือ สัญญาณความผิดพลาด ซึ่งเป็นความแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมาย กับค่าของตัวแปรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K_C	คือ	เกณฑ์การขยายของเครื่องควบคุม (controller gain)
b	คือ	ค่าไบอัส (bias) เป็นสัญญาณควบคุมจากเครื่องควบคุมเมื่อไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น [$e(t) = 0$] โดยปกติแล้วค่าไบอัสนี้จะถูกปรับตั้งในระหว่างการปรับเทียบเครื่องควบคุมให้อยู่ในย่านกลางๆ คือที่ 12 mA

จากสมการที่ 2.25 และ 2.26 จะเห็นว่าสัญญาณควบคุมของเครื่องควบคุมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมายกับค่าของตัวแปรควบคุม โดยที่ขนาดของสัดส่วนนั้นขึ้นอยู่กับเกณฑ์การขยายของเครื่องควบคุม (K_C) ดังนั้น จะเห็นได้ว่าเกณฑ์การขยายหรือความไวของเครื่องควบคุมนี้จะเป็นตัวกำหนดขนาดของสัญญาณควบคุมว่าจะเปลี่ยนแปลงไปเท่าไร เมื่อค่าความผิดพลาดเปลี่ยนแปลงไป

กล่าวโดยสรุปคือ เครื่องควบคุมที่ใช้ระบบการควบคุมแบบ proportional เพียงอย่างเดียว นั้น เป็นการควบคุมที่ง่ายที่สุด ซึ่งมีข้อดีในเรื่องของพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นกับตัวแปรควบคุมเสมอในบางกระบวนการเช่น การควบคุมระดับของเหลวในถังที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ แต่ในบางกระบวนการที่ต้องการให้การควบคุมนั้นอยู่ที่ค่าเป้าหมายตลอดเวลาแล้ว เครื่องควบคุมแบบ proportional เพียงอย่างเดียว นั้น ไม่สามารถจะนำมาใช้ควบคุมได้ดีพอ

2.2 Proportional-Integral Control (PI Control)

ในกรณีที่กระบวนการจะต้องถูกควบคุมให้อยู่ที่ค่าเป้าหมายตลอดเวลา เพื่อขจัดปัญหาการเกิดออฟเซตที่เกิดขึ้นกับระบบ P-only Control นั้น จะต้องมีการเพิ่มหน่วยคำนวณอีกหน่วยหนึ่งก็คือ การควบคุมแบบอินทิกรัล (integral) หรือรีเซ็ต (reset) ดังนั้นแบบการควบคุมก็จะกลายเป็นการควบคุมแบบ proportional integral หรือ PI Control โดยมีสมการที่ใช้อธิบายลักษณะการทำงานดังนี้

$$m(t) = b + K_C[r(t)-c(t)] + (K_C/T_I) \int [r(t)-c(t)] dt \quad (2.28)$$

$$m(t) = b + K_C e(t) + (K_C/T_I) \int e(t) dt \quad (2.29)$$

เมื่อ T_I = integral time หรือ reset time , นาที/ครั้ง

การควบคุมแบบ integral จะถูกนำมาใช้ควบคู่กับการควบคุมแบบ proportional เพื่อกำจัดออฟเซตที่เกิดขึ้น โดยเทอมของการควบคุมแบบ integral จะคอยเพิ่มค่าไบอัสของสัญญาณควบคุมให้เปลี่ยนแปลงไปตลอดที่ค่าความผิดพลาดยังปรากฏอยู่ และจะหยุดการเปลี่ยนแปลงเมื่อความผิดพลาดหมดไป

2.3 Proportional-Derivative Control (PD Control)

การควบคุมแบบนี้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการที่สามารถใช้การควบคุมแบบ proportional เพียงอย่างเดียวได้ แต่ต้องการให้มีลักษณะของ การคาดการณ์ล่วงหน้าบ้าง

การควบคุมแบบ derivative นั้นจะทำให้ผลตอบสนองของการควบคุมแบบ proportional เกิดขึ้นก่อนล่วงหน้า การควบคุมแบบนี้ไม่สามารถนำมาใช้เพียงลำพังได้ แต่ต้องนำมาใช้ควบคู่กับการควบคุมแบบ proportional เนื่องจากเมื่อความผิดพลาดมีค่าเป็นศูนย์หรือคงที่แล้วก็จะไม่มีสัญญาณควบคุมของเครื่องควบคุมเกิดขึ้น

ดังนั้น การควบคุมแบบ derivative จึงอาจนิยามได้ว่า เป็นการควบคุมที่ให้ขนาดของตัวแปรปรับกระบวนการ (manipulated variable) เป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดหรือการเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้น

สมการที่ใช้อธิบายการควบคุมในลักษณะนี้คือ

$$m(t) = b + K_c e(t) + (K_c T_D) de(t)/dt \quad (2.30)$$

เมื่อ T_D คือ derivative time (minute)

2.4 Proportional-Integral-Derivative Control (PID Control)

การควบคุมในลักษณะนี้เป็นการรวมเอาการควบคุมแบบ proportional integral และ derivative เข้าไว้ด้วยกัน

สมการที่ใช้ในการอธิบายการทำงานคือ

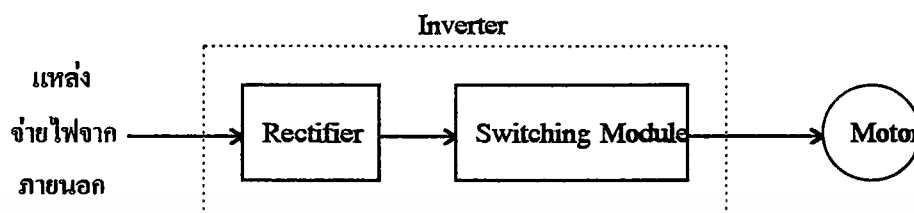
$$m(t) = b + K_c e(t) + (K_c T_I) \int e(t) dt + (K_c T_D) de(t)/dt \quad (2.31)$$

เครื่องควบคุมที่ใช้การควบคุมแบบ PID นั้นจะถูกนำมาใช้ในกระบวนการที่มีค่าคงตัวเวลา (time constant) ยาวนาน ยกตัวอย่างเช่น การควบคุมอุณหภูมิที่ต่อหลายๆ ส่วนรวมกัน ส่วนกระบวนการที่มีค่าคงตัวเวลาสั้นหรือมี capacitance เล็กนั้นเมื่อใช้การควบคุมแบบ PID จะทำให้ผลการตอบสนองเร็วขึ้นและไวต่อสิ่งรบกวน

สำหรับระบบควบคุมกำลังบิดในการปั่นกวนที่ใช้ใน โครงการพิเศษนี้เครื่องควบคุมที่ใช้จะมีหน่วยพิเศษที่เรียกว่า Auto Tuning Procedure มีหน้าที่พิเศษคือ ระบบจะสุ่มลักษณะการควบคุมการควบคุมในช่วงแรกว่าเป็นเช่นไร จากนั้นจะคำนวณค่า K_c , T_I และ T_D ระบบการควบคุมนั้นออกมา ให้โดยไม่ต้องคำนวณด้วยตนเอง

3. Inverter [7]

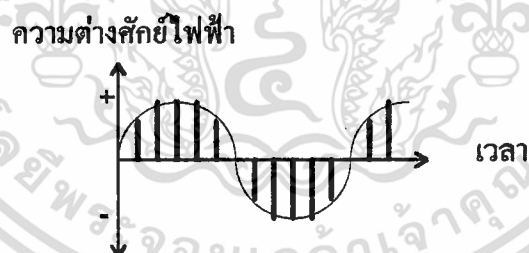
มีหลักการทำงานดังนี้



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบต่างๆ ของอินเวอร์เตอร์

Rectifier จะทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับที่ได้รับให้เป็นไฟกระแสตรง ส่วน Switching Module จะทำไฟกระแสตรงที่ได้รับ ไปสร้างเป็นไฟกระแสสลับที่มีความถี่ต่างๆ ตามต้องการ ส่งไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์ต่อไป

พิจารณาสุกคลื่นของ ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยให้แกนนอนเป็นแกนของเวลา ส่วนแกนตั้งเป็นแกนของความต่างศักย์ไฟฟ้า พบว่าเมื่อจ่ายไฟด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าต่างๆกัน กับเวลาให้สัมพันธ์กัน จะสามารถสร้างไฟกระแสสลับได้ Switching Module ได้อาศัยหลักการนี้ในการนำเอาไฟกระแสตรงจาก Rectifier มาสร้างเป็นไฟกระแสสลับที่มีความถี่ตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.6 แสดงหลักการทำงานของเครื่อง Inverter

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

โครงการพิเศษนี้ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

1. การออกแบบ เขียนแบบ และสร้างถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร พร้อมทั้งหาอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็น
2. การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เซลลูโลสที่นำมาสังเคราะห์มี 2 ประเภทคือ เซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ (Paper pulp) มีลักษณะเป็นเส้นใยละเอียดคล้ายสำลี กับเซลลูโลสชนิดผง (Powered Cellulose)
3. ดำเนินการทดลองในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร โดยใช้ใบพัด anchor agitator อัตราส่วนของสารละลายต่อเซลลูโลสเท่ากับ 25:1 โดยเปลี่ยนค่าความเร็วรอบในการปั่นกวนเพื่อหาช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าองค์การแทนที่ เพื่อใช้ในการขยายขนาด
4. ดำเนินการทดลองสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ด้วยถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร โดยใช้ค่ากำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด การศึกษาในขั้นนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือควบคุมที่ความเร็วรอบในการปั่นกวน กับควบคุมที่ค่ากำลังบิดในการปั่นกวน

3.1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ถังปฏิกรณ์เคมีขนาดความจุ 24.7 ลิตร สร้างจากเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด ANSI 304 พร้อมใบพัดกวน anchor agitator
2. ถังปฏิกรณ์เคมีขนาดความจุ 2 ลิตร สร้างจากเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด ANSI 304 พร้อมใบพัดกวน anchor agitator
3. เครื่องกวนเชิงกล (mechanical stirrer) IKA LABORTECHNIK รุ่น EUROSTAR power digital 230 โวลต์ 130 วัตต์
4. เครื่องกวนเชิงกลกระแสสลับขนาด 2 แรงม้า
5. เครื่องควบคุมการกวนของเครื่องกวน Adjustable frequency AC motor drive รุ่น M-tronic K1
6. เครื่องควบคุมกำลังบิดของการกวน Constant torque digital indicating controller รุ่น YOKOGAWA UT15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เครื่องวัดและแปลงสัญญาณกระแสสลับ Current transmitter รุ่น WISCO CT 086S
8. คู่ความความร้อน (thermocouple) ชนิด K
9. เครื่องควบคุมและแสดงค่าอุณหภูมิแบบ PD (PD controller)
10. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส
11. ชุดกรองสารแบบสูญญากาศ และกระดาษกรอง
12. เทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิได้ในช่วง 0-100 องศาเซลเซียส
13. เครื่องดูดความชื้น (desicator)
14. ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 80 และ 105 องศาเซลเซียส
15. เครื่องทำน้ำเย็น (cooling aid)
16. ชุดกลั่นเอทานอลขนาด 10 ลิตร
17. กระดาษลิตมัส

3.2 สารเคมี

1. กรดคลอโรแอซติก (ClCH_2COOH) เกรดวึเคราะห์ บริษัท ฟลูกา
2. กรดไนตริก (HNO_3) เกรดวึเคราะห์ บริษัท คาร์เลอร์บา
3. กรดแอซติก (CH_3COOH) เกรดวึเคราะห์ บริษัท เมย์แอนด์เบเกอร์
4. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เกรดวึเคราะห์ บริษัท เมย์แอนด์เบเกอร์
5. เงินไนเตรด (AgNO_3) เกรดวึเคราะห์ บริษัท เมอร์ค
6. เซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ (Paper pulp) บริษัท ไทยเซลลูโลสโปรดักท์
7. เซลลูโลสชนิดผง (Powered Cellulose) บริษัท ไฟเบอร์เซลลูลอสอินดิวสทรี
8. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดการค้า บริษัท เมย์แอนด์เบเกอร์
9. ไดฟีนิลามีน ($(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$) เกรดวึเคราะห์ บริษัท ฟลูกา
10. เทตระแอมโมเนียมคลอไรด์ ($(\text{CH}_3)_4\text{N}^+\text{Cl}^-$) เกรดวึเคราะห์ บริษัท ฟลูกา
11. เอทานอล 95% ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) เกรดวึเคราะห์ บริษัท คาร์เลอร์บา
12. เอทานอล 80% ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) เกรดการค้า บริษัท คาร์เลอร์บา
13. ไอโซโพรพานอล ($(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$) เกรดการค้า บริษัท เมย์แอนด์เบเกอร์
14. น้ำกลั่น (distilled water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเขียนแบบ ออกแบบ และจัดสร้างถังปฏิกรณ์ขนาด 24.7 ลิตร พร้อมทั้งจัดหา อุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็น

ทำการออกแบบ และเขียนแบบถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร ครอบคลุมชนิด 2 ใบ พร้อมด้วยใบพัดกวนชนิด anchor agitator โดยมีสัดส่วนและส่วนประกอบต่างๆดังตารางที่ 2.1 และจัดสร้างด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม พร้อมทั้งจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นได้แก่ มอเตอร์กระแสสลับ เครื่องควบคุมมอเตอร์ (Inverter) เครื่องควบคุมกำลังบิดของมอเตอร์ให้คงที่ (Constant torque digital indicating controller) เครื่องวัดและแปลงสัญญาณกระแสสลับ (Current transmitter) ฯลฯ

3.4 การศึกษาพารามิเตอร์ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร

ศึกษาพารามิเตอร์ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้ใบพัดกวนชนิด anchor ที่อัตราส่วนของสารละลายต่อเซลลูโลสเท่ากับ 25:1 โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในการปั่นคือ 160 และ 200 รอบต่อนาที สำหรับเซลลูโลสชนิดเยื่อกระดาษ และที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที สำหรับเซลลูโลสชนิดผง เพื่อศึกษาค่ากำลังบิดหรือค่ากำลังบิดต่อปริมาตรที่เปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบ

3.4.1 ขั้นตอนในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฟสทรานส์เฟอร์

ชั่งเซลลูโลส 72.00 กรัม เทตระเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.86 กรัม (0.008 โมล) ตวงไอโซโพรพานอล 1400 มล. เทสารผสมทั้งหมดลงถังปฏิกรณ์ขนาด 2 ลิตร ตั้งเครื่องมือในอ่างควบคุมอุณหภูมิ กวนของผสมด้วยเครื่องกวนเชิงกล โดยใช้ใบพัดกวน anchor ด้วยความเร็วประมาณ 300-500 รอบต่อนาที ค่อยๆหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 36% 180 กรัม (1.620 โมล) จากกรวยแยกจนหมดในเวลา 15 นาที กวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเริ่มให้ความร้อน รอจนอุณหภูมิของของผสมขึ้นถึง 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมความเร็วรอบในการปั่นกวนที่ 160 รอบต่อนาที สำหรับเซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ เทสารละลายกรดคลอโรแอซิดิก (เตรียมโดยชั่งกรดคลอโรแอซิดิก 73.48 กรัม (0.778 โมล) ละลายในไอโซโพรพานอล 220 มล.) ลงในสารละลายทันที เริ่มเก็บตัวอย่างของผสม โดยใช้ปิเปตดูดครั้งละ 50 มล. ที่เวลา 10 30 60 120 และ 210 นาที ตามลำดับ ทำให้ตัวอย่างของผสมที่เก็บมา ณ.เวลาต่างๆ มีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสทันที โดยแช่ในน้ำเย็นเพื่อหยุดปฏิกิริยา จากนั้นนำของผสมมา

ปรับความเป็นกรด-ด่าง ให้มีความเป็นกลางด้วยกรดแอซีติกเข้มข้น ทำการทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสจนไม่เปลี่ยนสีจากแดงเป็นน้ำเงิน เพื่อหยุดปฏิกิริยาโดยถาวร กรองตัวอย่างของผสมผ่านกระดาษกรองโดยเครื่องกรองสุญญากาศเพื่อแยกไอโซโพรพานอลออก จะได้ CMC นำไปทำให้บริสุทธิ์เพื่อหาค่าองศาการแทนที่ต่อไป

ในขณะที่ทำการปั่นกวนของผสมในถังปฏิกรณ์เคมีอยู่นั้น ทำการจดบันทึกค่ากำลังบิดของการกวนที่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลา จนถึงสิ้นสุดการศึกษาที่เวลา 210 นาทีหลังจากที่เติมสารละลายกรดคลอโรแอซีติก โดยดูค่ากำลังบิดที่เกิดขึ้น ณ.เวลานั้นทางแผงหน้าปัดของเครื่องกวน ในหน่วย Ncm

ทำการทดลองซ้ำทั้งหมดโดยเปลี่ยนความเร็วรอบการกวนที่ทำการศึกษากันเป็น 200 สำหรับเซลล์โลสจากเยื่อกระดาษ และ 50 รอบต่อนาที สำหรับเซลล์โลสชนิดผง ตามลำดับ

3.4.2 ขั้นตอนการทำการบอกรวมฟิลเซลล์โลสให้บริสุทธิ์

นำ CMC ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.4.1 มาทำให้บริสุทธิ์ โดยนำมากรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน ล้าง CMC ในหมักเกลือคลอไรด์ด้วยเอทานอลที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสผ่านเครื่องกรองแบบลดความดัน ทดสอบโดยนำเอทานอลที่ไหลผ่านคาร์บอกซีเมทิลเซลล์โลส 5 หยดสุดท้ายจากกรวยกรอง มาหยดด้วยสารละลายเงินไนเตรด 2-3 หยด จนพบว่าสารละลายไม่มีตะกอนสีขาวของเงินคลอไรด์เกิดขึ้น ล้างต่ออีกครั้งด้วยเอทานอลที่ปราศจากน้ำ กรองให้แห้ง ถ่ายสารจากกรวยกรองลงบนกระดาษฟิลา ออบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น CMC ที่ได้จะมีสีขาว ละลายน้ำได้ดี

3.4.3 การหาค่าองศาการแทนที่ของคาร์บอกซีเมทิลเซลล์โลส

ชั่ง CMC ประมาณ 2 กรัม ตวงเอทานอล 95% 75 มล. กวนผสมโดยใช้แท่งแม่เหล็กจนกระทั่งได้ของผสมที่มีการกระจายตัวดีที่สุด เติมกรดไนตริกเข้มข้น 2.5 มล. ในขณะที่ปั่นกวน กวนต่อไป 1-2 นาที เริ่มให้ความร้อนกับของผสมและปล่อยให้เดือดเป็นเวลา 5 นาที กวนต่อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10-15 นาที กรองของผสมด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน ถ่ายตะกอน CMC จากกรวยกรองลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มล. เติมเอทานอล 95% ประมาณ 50-100 มล. นำไปปั่นกวนต่อประมาณ 1-2 นาที จากนั้นกรองและล้าง CMC ที่ได้ให้หมดกรดไนตริกด้วยเอทานอล 80% ที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบว่ายังมีกรดไนตริกเหลืออยู่หรือไม่ โดยนำเอทานอล 5 หยดสุดท้ายที่ไหลผ่าน CMC จากกรวยกรอง หยดลงบนกระดาษกรอง จากนั้นหยดสารละลายไคฟิโนลามีน 1 หยด ลงบนรอยหยดเอทานอลบนกระดาษกรอง ถ้ายังมีกรดไนตริกเหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายไดฟีนิลามีนที่หยดลงไปจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ต้องล้างตะกอนด้วยเอทานอล 80% อุมหภูมิ 60 องศาเซลเซียสต่อไปอีกจนแน่ใจว่า สารละลายไดฟีนิลามีนที่หยดลงบนการคายกรอง ไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน แสดงว่าหมดกรดไนตริกแล้ว (ปกติล้างตะกอนประมาณ 4-6 ครั้ง) จากนั้น ล้างตะกอนด้วยเมทานอลที่ปราศจากน้ำ กรองให้แห้ง ถ่ายตะกอนลงบนกระดาษฟิลา นำไปอบที่ อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น ตะกอนที่ได้จะเป็น CMC รูปกรด มีสีขาว ไม่ละลายน้ำ

ชั่ง CMC รูปกรดมาประมาณ 0.5000 กรัมโดยละเอียด (จดบันทึกน้ำหนักที่ชั่งได้) ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. เติมน้ำกลั่น 100 มล. กวนโดยใช้แท่งแม่เหล็ก เปิดเตาสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มอล 10 มล. ลงในขวดรูปชมพู่ ให้ความร้อนแก่สารละลาย จนสารละลายเดือด ปล่อยให้เดือดต่อไปเป็นเวลาประมาณ 15-30 นาที ทำการไทเทรตสารละลายที่ได้ในขณะที่ร้อนด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 นอร์มอล โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลินเป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งได้สารละลายที่ใสไม่มีสี (จากเดิมเป็นสารละลายสีชมพูเข้ม) จดบันทึกความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ และจดบันทึกปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่เติมลงไป เพื่อในค่าทั้งหมดไปคำนวณหาค่าองศาการแทนที่ต่อไป

3.5 การศึกษาการขยายขนาดในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ด้วยดังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร โดยใช้กำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด

แบ่งวิธีการศึกษาได้เป็น 2 วิธีดังนี้

1. สังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ด้วยดังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร โดยควบคุมกำลังบิดต่อปริมาตรให้คงที่ตลอดการสังเคราะห์ โดยค่ากำลังบิดในการกวนที่ใช้ในดังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตรนั้น สามารถคำนวณได้จากค่ากำลังบิดที่จดบันทึกไว้จากการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสด้วยดังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ที่ความเร็วรอบของการกวน 160 และ 200 รอบต่อนาทีสำหรับเซลลูโลสจากเชื้อกระดาษ และที่ 50 รอบต่อนาที สำหรับเซลลูโลสชนิดผง

หมายเหตุ จากสมการที่ 2.20 เมื่อกำหนดให้ค่ากำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด จะได้ ค่ากำลังบิดในการกวนของดังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร มีค่าเป็น k เท่าของค่ากำลังบิดในการกวนของดังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ω ความเร็วรอบในการกวนต่างๆ

2. สังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ด้วยถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร โดยควบคุมความเร็วรอบในการปั่นกวนให้คงที่นั้น ความเร็วรอบในการปั่นกวนของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร หาได้จากการแปลงค่าความเร็วรอบรอบในการปั่นกวนจากถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ด้วยตัวแปรที่คำนวณได้จากการใช้ค่ากำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด

หมายเหตุ จากสมการที่ 2.20 เมื่อกำหนดให้ค่ากำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด จะได้ ค่าความเร็วรอบในการกวนของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร มีค่าเป็น $k^{-1/3}$ เท่าของค่าความเร็วรอบในการปั่นกวนของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร

จากนั้นทำการสังเคราะห์ CMC โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการปั่นกวนของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตรคือ 68.3 และ 85.4 รอบต่อนาที สำหรับเซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ และที่ 21.5 รอบต่อนาที สำหรับเซลลูโลสชนิดผง

(แปลงค่าความเร็วรอบมาจากการกวนในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตรที่ความเร็วรอบเท่ากับ 160 และ 200 รอบต่อนาที สำหรับเซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ และที่ 50 รอบต่อนาที สำหรับเซลลูโลสชนิดผง ตามลำดับ)

ขั้นตอนการปฏิบัติ

ชั่งเซลลูโลส 930 กรัม เทพระเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ 11.11 กรัม และไอโซโพรพานอล 18,100 มล. ลงในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร กวนของผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนเชิงกล โดยใช้ใบพัดแบบ anchor ที่กำลังบิดในการกวน หรือความเร็วรอบในการกวนตามที่ได้กำหนดมาข้างต้น (ข้อ 1 หรือ ข้อ 2) ค่อยๆ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 36% 2,325 กรัม จากกรวยแยกจนหมดในเวลา 30 นาที กวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเริ่มให้ความร้อน รอจนอุณหภูมิของของผสมขึ้นถึง 45 องศาเซลเซียส กวนต่อเป็นเวลา 20 นาที เติสารละลายกรดคลอโรแอซิดิก (เตรียมโดยชั่งกรดคลอโรแอซิดิก 950 กรัม ละลายในไอโซโพรพานอล 2,840 มล.) ลงทันที เริ่มจับเวลา และเริ่มเก็บตัวอย่างของผสมครั้งละ 50 มล. ที่เวลา 10, 30, 60, 120, และ 210 นาที ตามลำดับ ทำให้ตัวอย่างของผสมที่เก็บมา ณ เวลาต่างๆ มีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสทันที โดยแช่ในน้ำเย็นเพื่อหยุดปฏิกิริยา จากนั้นนำของผสมมาปรับความเป็นกรด-ด่าง ให้มีความเป็นกลางด้วยกรดแอซิดิกเข้มข้น ทำการทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสจนไม่เปลี่ยนสีจากแดงเป็นน้ำเงิน เพื่อหยุดปฏิกิริยาโดยถาวร กรองตัวอย่างของผสมผ่านกระดาษกรองโดยเครื่องกรองสุญญากาศเพื่อแยกไอโซโพรพานอลออก จะได้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส นำไปทำให้บริสุทธิ์เพื่อหาค่าองค์การแทนที่ต่อไป

นำคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ที่ผลิตได้ไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และหาค่าองค์การแทนที่ตามวิธีการในข้อ 3.4.2 และ 3.4.3 ตามลำดับ

ในขณะที่ทำการปั่นกวนของผสมในถังปฏิกรณ์เคมีอยู่นั้น ทำการจดบันทึกค่ากำลังบิดของการกวนที่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลา จนถึงสิ้นสุดการศึกษาที่เวลา 210 นาทีหลังจากที่เติมสารละลายกรดคลอโรแอซิก โดยดูค่ากำลังบิดที่เกิดขึ้น ณ เวลานั้นทางแผงหน้าปัดของเครื่องควบคุม ดำเนินการทดลองซ้ำจนครบตามจำนวนที่ต้องการศึกษาในข้อ 1 และข้อ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร

4.1 การเขียนแบบ การออกแบบ ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร

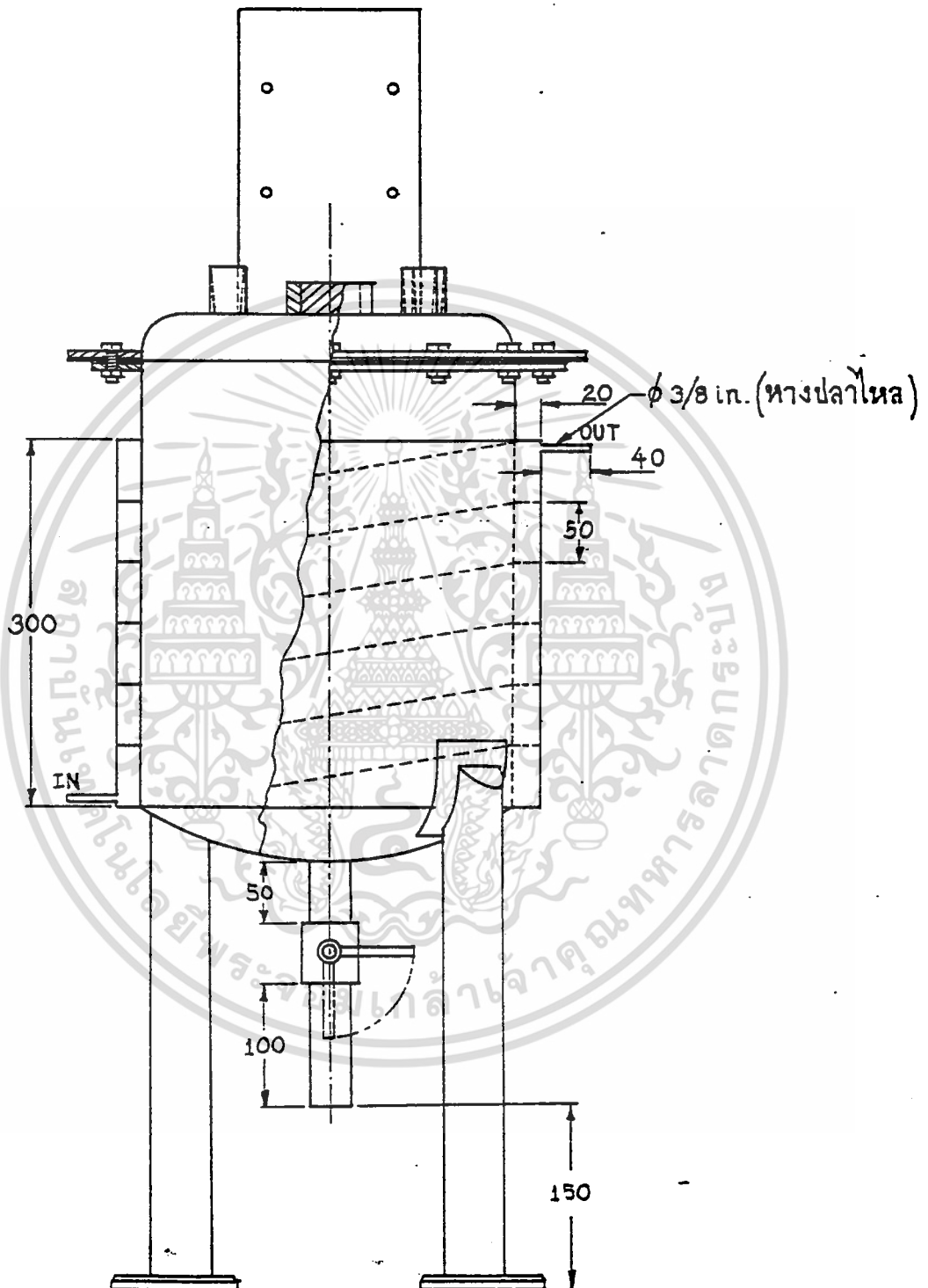
ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร ออกแบบโดยใช้ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตกับถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างส่วนประกอบของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร กับถังมาตรฐาน

รายละเอียด	สัญลักษณ์	ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิต	ขนาด (cm)
1. เส้นผ่านศูนย์กลางถัง(ภายใน)	D_T	$1.0 D_T$	30
2. รัศมีความโค้งของก้นถัง	R_T	$0.9 D_T$	27
3. ความสูงของถัง	H_T	$>1.15 D_T$	40.5
4. ความสูงของของเหลวภายในถัง	H_L	$1.0 D_T$	30
5. ความหนาของถัง ครีปและใบพัด	T	-	0.3
6. ความกว้างของครีป	W_B	$0.1 D_T$	3
7. ใบพัดชนิด Anchor agitator (2 ใบ)			
-เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด	D	$\sim 0.94 D_T$	28
-ความสูงของแผ่นใบพัด	l	$\sim 1.0 D_T$	32
-ความกว้างของแผ่นใบพัด	q	$0.1 D$	2.8
-ความสูงของใบพัดจากก้นถัง		$(0.01-0.05) D$	1.0
-จำนวนครีปใบพัด		2 อัน	
-ความยาวของครีปใบพัด		$> D_T$	33
-ระยะห่างของครีปถึงกับครีปใบพัด		$(0.01-0.05) D$	1.0
8. ระยะห่างระหว่างผนังภายในช่องเดินน้ำ			2
9. ระยะห่างระหว่างชั้นภายในช่องเดินน้ำ			5

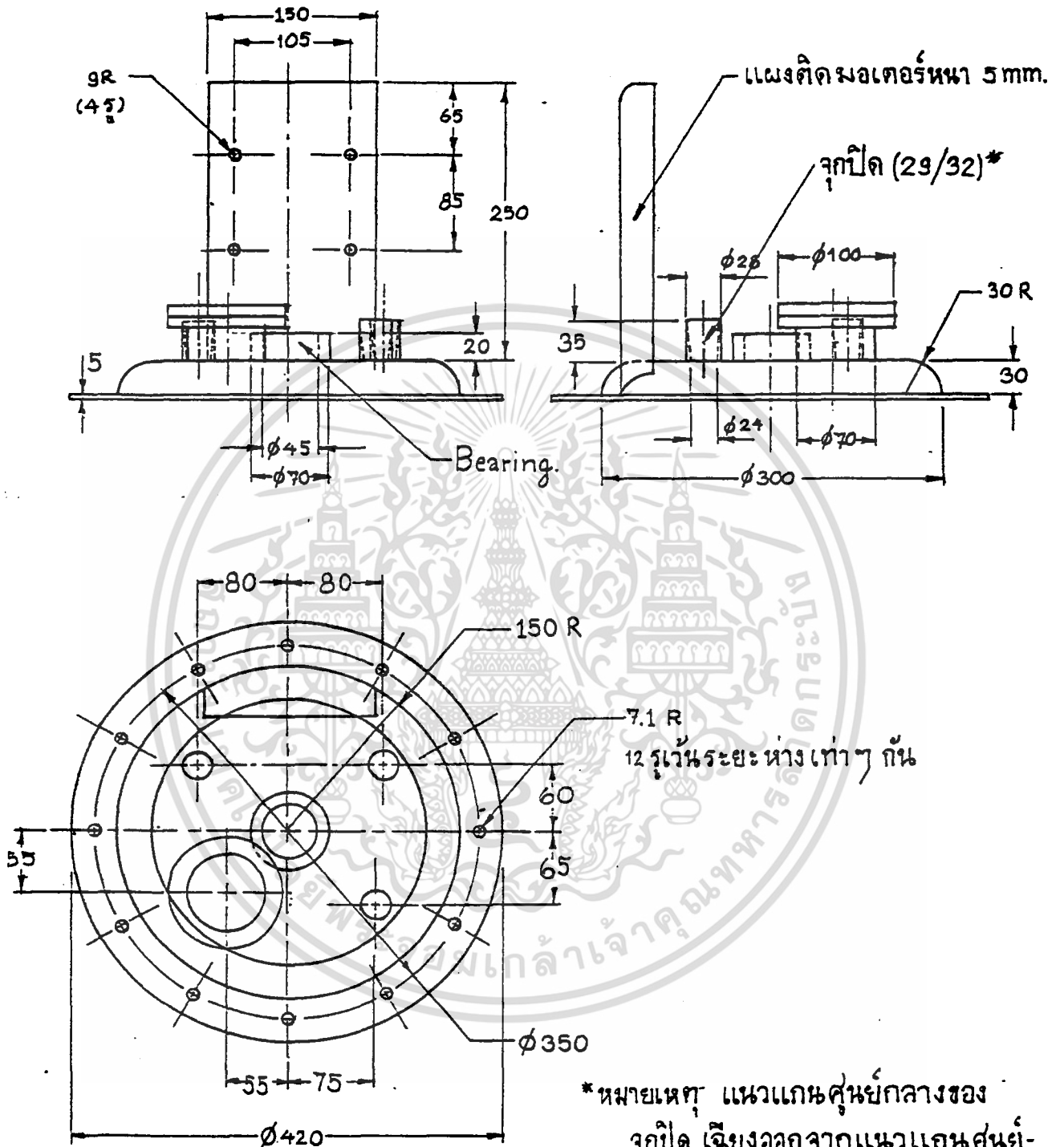
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบแสดงส่วนต่างๆ ของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตรที่ออกแบบสร้าง ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.6



รูปที่ 4.1 แสดงแบบโดยรวมของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร

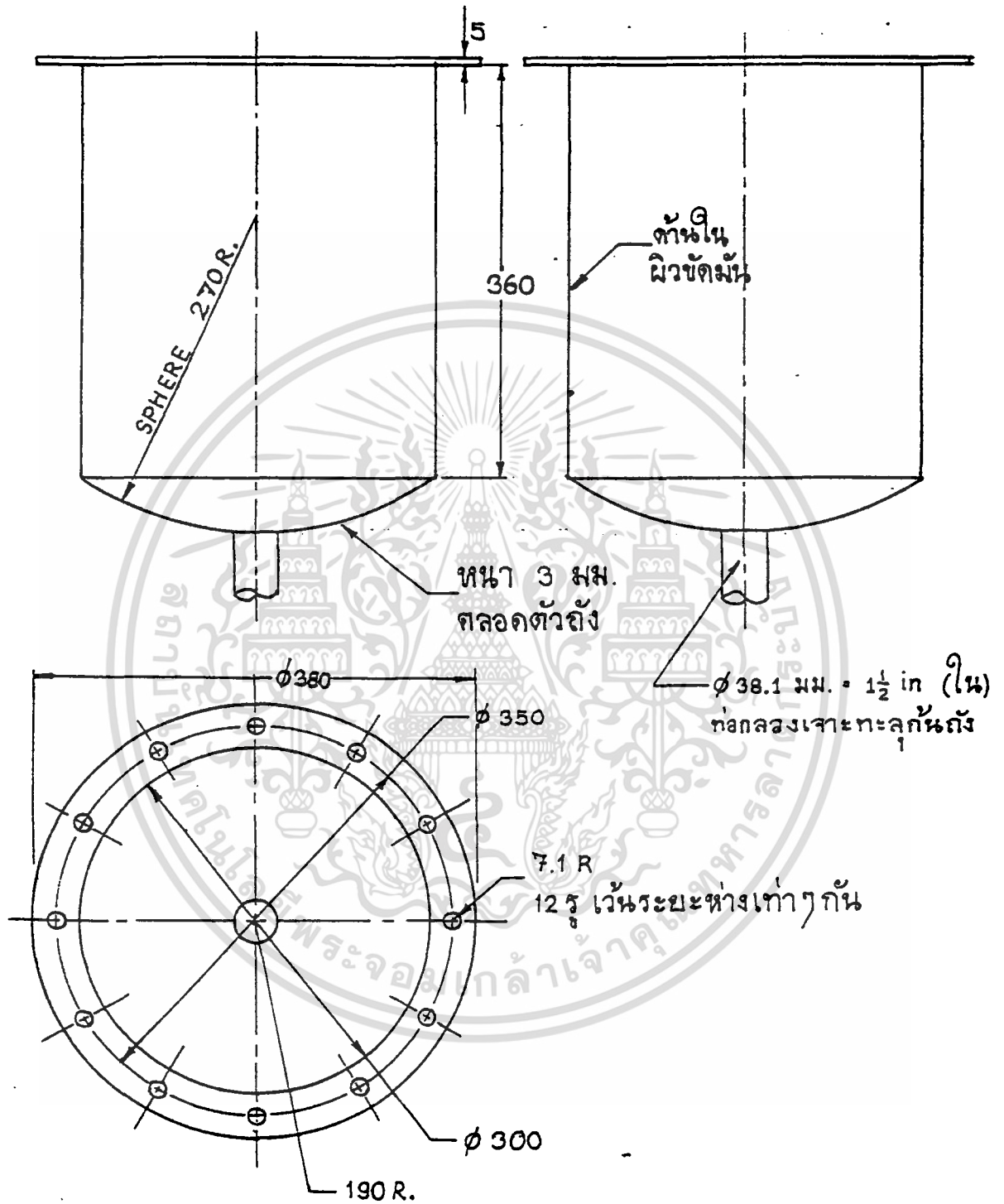
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



*หมายเหตุ แนวแกนศูนย์กลางของ จุกปิด เจียงออกจากแนวแกนศูนย์กลางหลักของถังประมาณ 5 องศา

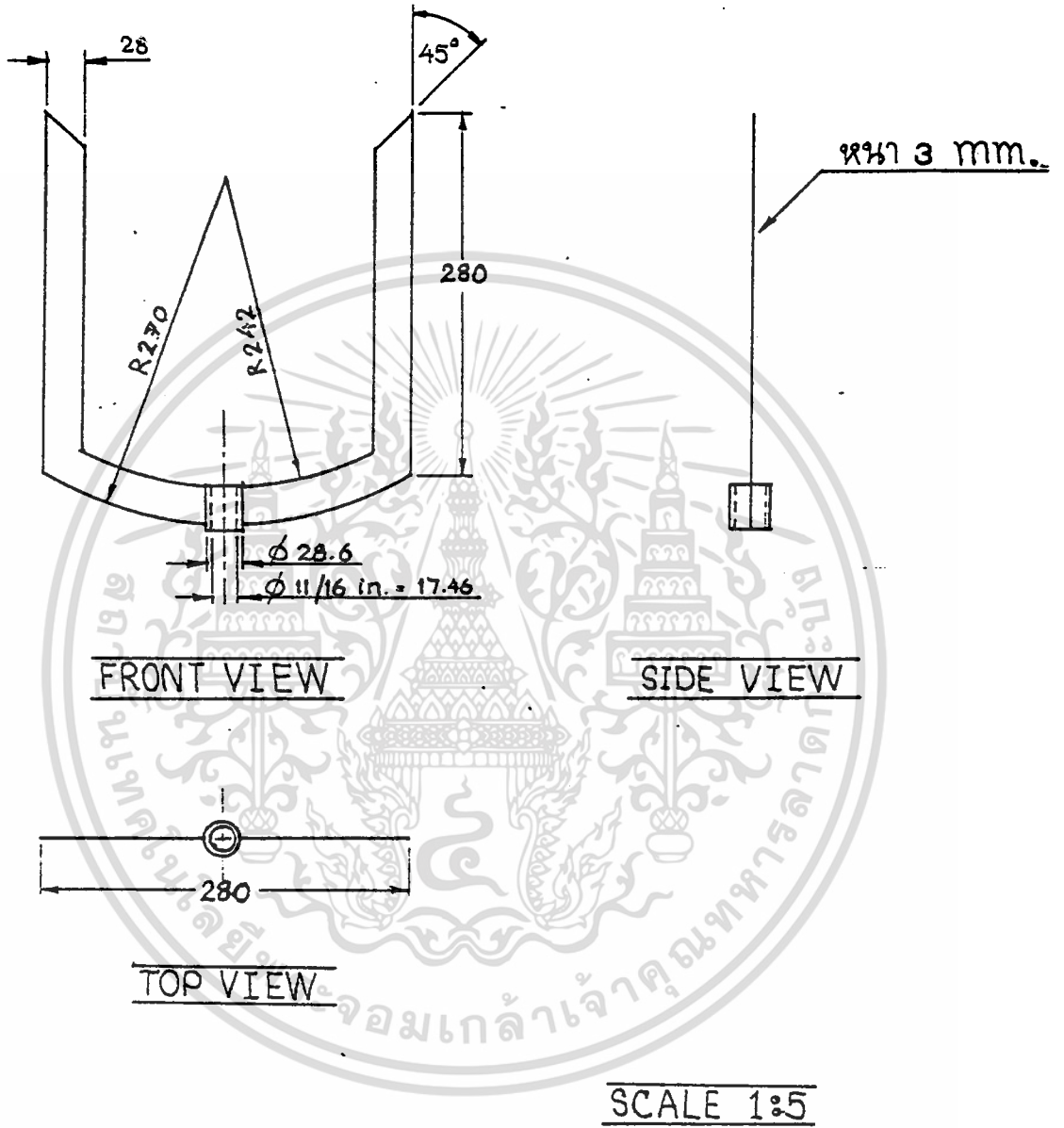
รูปที่ 4.2 แสดงส่วนฝาถังปฏิกรณ์เคมี และเฟืองตีมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



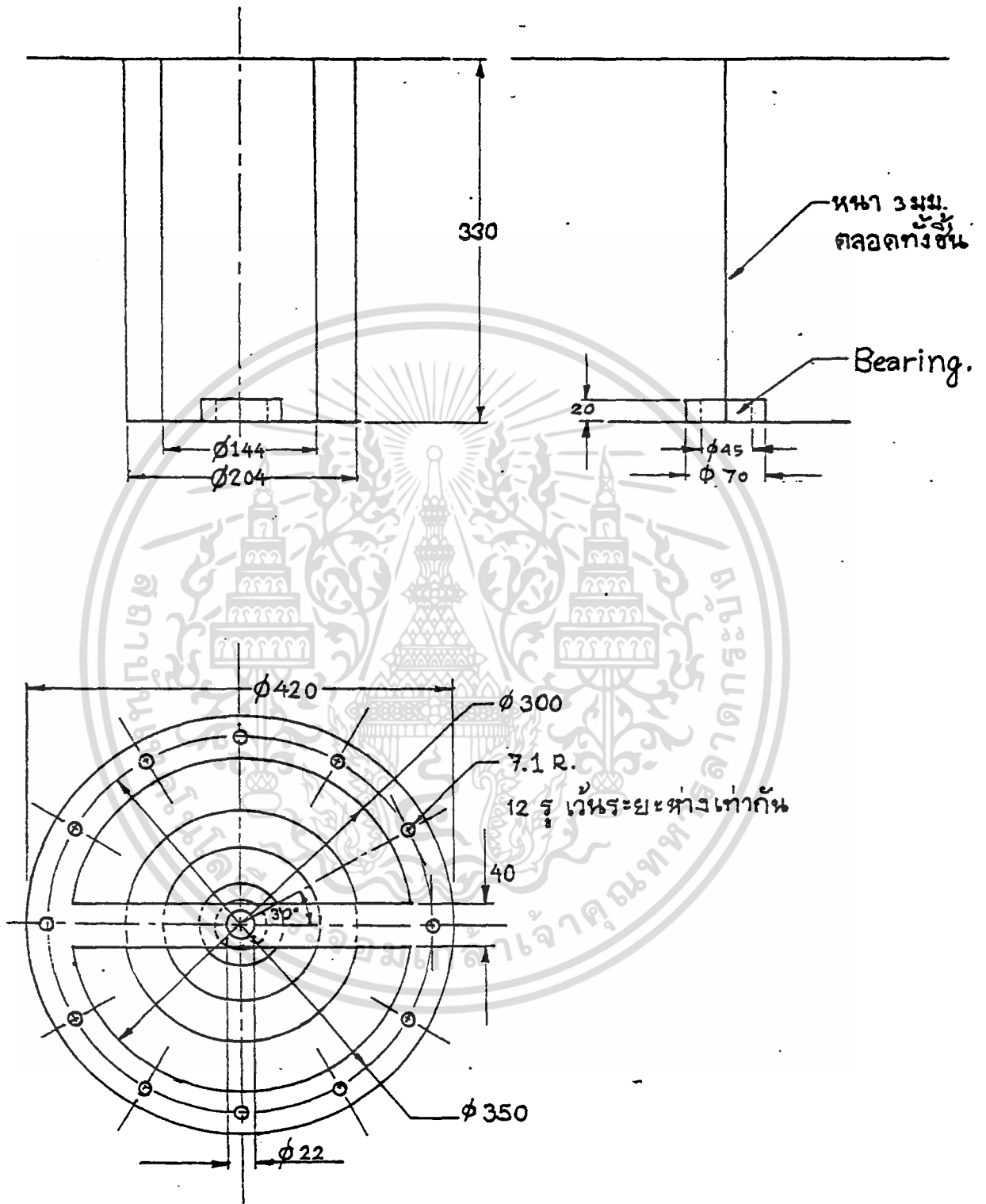
รูปที่ 4.3 แสดงตัวถังปฏิกรณ์เคมีส่วนใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



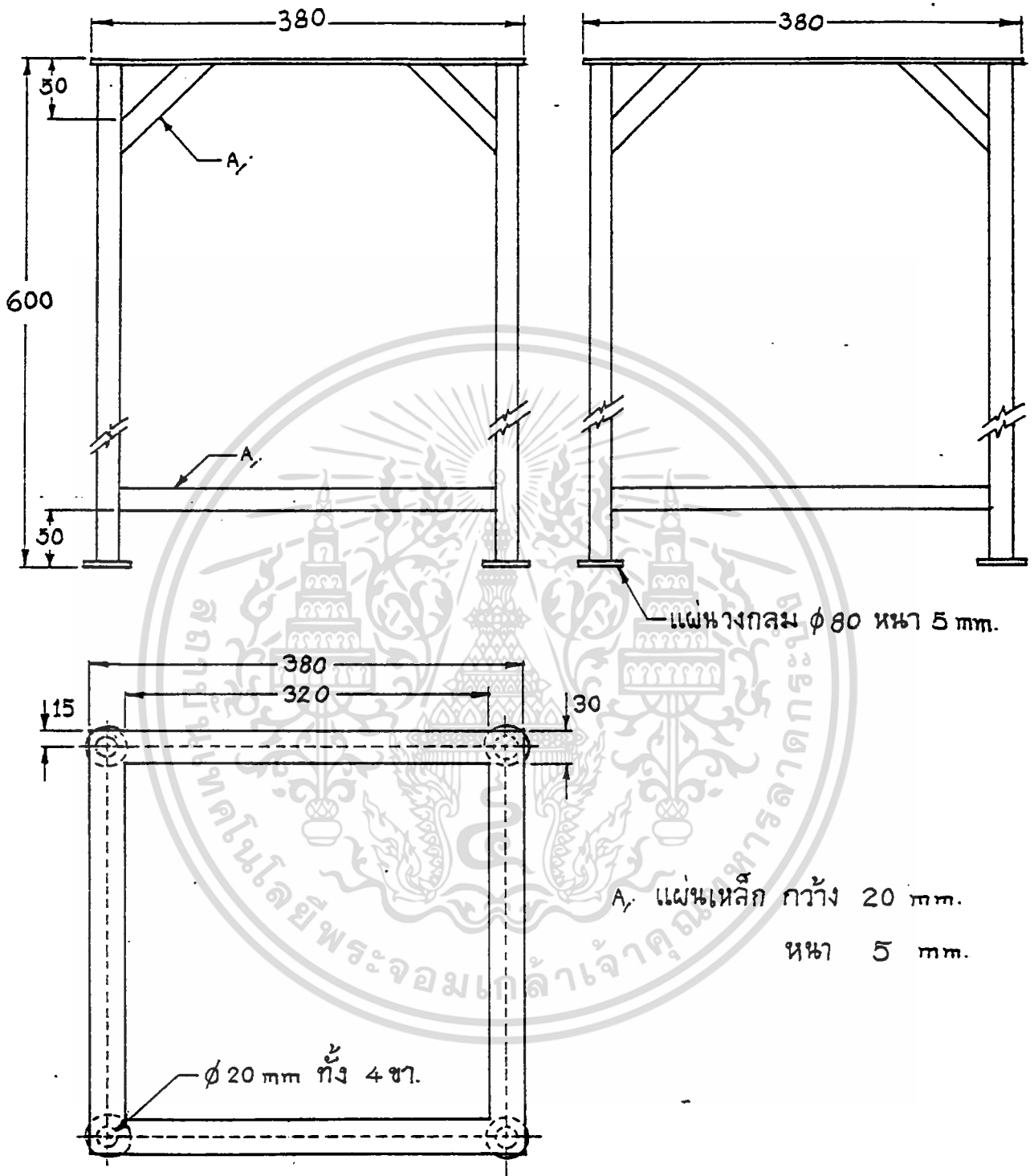
รูปที่ 4.4 แสดงใบพัดกวนแบบเกือกม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงครีบบภายในถึงปฏิกรณ์เคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงแบบขาคั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อุปกรณ์ประกอบถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร

มีรายละเอียดดังนี้

1. มอเตอร์กระแสสลับ ขนาด 2 แรงม้า
2. ชุดควบคุมความเร็ว และควบคุมกำลังบิด ของมอเตอร์ ประกอบด้วย
 - 2.1 Current Transmeter
 - 2.2 PID Controller
 - 2.3 Inverter
3. ชุดควบคุมอุณหภูมิภายนอก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การศึกษาผลของกำลังบิดต่อปริมาตร ที่มีต่อการขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมี ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส แบ่งวิธีการศึกษาได้ 2 วิธีคือ

1. การศึกษาผลการขยายขนาด โดยการควบคุมความเร็วรอบในการปั่นกวน
2. การศึกษาผลการขยายขนาด โดยการควบคุมกำลังบิดในการปั่นกวน

การศึกษาทั้งสองวิธีนี้มีขั้นตอนการศึกษาเหมือนกันคือ เริ่มจากการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสด้วยถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ทดสอบหาค่าองศาการแทนที่ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้ที่ความเร็วรอบการปั่นกวนต่างกัน คือที่ 160 และ 200 รอบต่อนาที สำหรับเซลลูโลสชนิดเส้นใยจากเยื่อกระดาษ และที่ 50 รอบต่อนาที สำหรับเซลลูโลสชนิดผง จากนั้นสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ด้วยถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร โดยอาศัยกำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด (ข้อมูลการทดลองอยู่ในภาคผนวก ค)

5.1 ผลของความเร็วยรอบ และชนิดของเซลลูโลส ในการสังเคราะห์ด้วยถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร

การทดลองในส่วนของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร เซลลูโลสที่ใช้มี 2 ลักษณะคือ เป็นเยื่อละเอียด และเป็นผง โดยมีอัตราส่วนระหว่างสารละลายต่อเซลลูโลสเท่ากับ 25 : 1 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ได้ผลดังนี้

1. ช่วงจำกัดของความเร็วยรอบของการปั่นกวน ในการสังเคราะห์โดยใช้เซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ อยู่ในช่วง 160 - 200 รอบต่อนาที เหตุที่ไม่สามารถปั่นกวนโดยใช้ความเร็วรอบต่ำกว่า 160 รอบต่อนาที ในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตรได้นั้น เป็นเพราะเซลลูโลสชนิดนี้ เมื่อทำการสังเคราะห์จะเกิดบวมตัว และจับตัวเป็นก้อน เมื่อปั่นกวนด้วยความเร็วยรอบต่ำๆ ค่ากำลังบิดที่เกิดกับมอเตอร์จะสูงขึ้น ทำให้มอเตอร์ซึ่งมีกำลังขับไม่พอหยุดหมุน ความเร็วยรอบต่ำสุดที่สามารถปั่นกวนได้โดยมอเตอร์ไม่หยุดหมุนคือที่ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าองศาการแทนที่ของ CMC ที่การปั่นกวนด้วยความเร็วยรอบ 160 รอบต่อนาที กับการปั่นกวนด้วยความเร็วยรอบ 200 รอบต่อนาที พบว่าที่ความเร็วรอบการปั่นกวนสูง จะให้ค่าองศาการแทนที่สูงขึ้น ดังรูปที่ 5.1 จึงเลือกการปั่นกวนในช่วงนี้เป็นช่วงเทียบผลการขยายขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สำหรับการสังเคราะห์ CMC จากเซลลูโลสชนิดผงนั้น ช่วงขีดจำกัดของความเร็วในการปั่นกวนอยู่ที่ 50-70 รอบต่อนาที จึงเลือกใช้ความเร็วในการปั่นกวนที่ 50 รอบต่อนาทีในการขยายขนาด

5.2 ผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร

จากการทดลองพบว่า เมื่อสังเคราะห์ CMC จากเยื่อกระดาษที่ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที มีค่าองศาการแทนที่ต่ำกว่าการสังเคราะห์ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที แต่เมื่อเทียบผลของค่าลึงบิตที่เกิดขึ้นพบว่า ค่าลึงบิตที่เกิดที่ความเร็วรอบการปั่นกวน 160 รอบต่อนาที มีค่าสูงกว่าที่ความเร็วรอบการปั่นกวน 200 รอบต่อนาที ดังรูปที่ 5.2 เนื่องจากลักษณะของเซลลูโลสที่เป็นเส้นใย เมื่อนำมาสังเคราะห์จะเกิดการบวมตัวและจับตัวภายในถังปฏิกรณ์เคมี ขัดขวางการไหลตัวของของผสมภายในถังปฏิกรณ์เคมี ดังนั้นการปั่นกวนที่ความเร็วรอบต่ำ จึงส่งผลให้ค่าค่าลึงบิตสูงกว่าการปั่นกวนที่ความเร็วรอบสูง

5.3 ผลของการขยายขนาดโดยใช้ค่าลึงบิตต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในถังปฏิกรณ์เคมี

ขนาด 24.7 ลิตร

การทดลองโดยอาศัยค่าลึงบิตต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาดนั้น สามารถทำการทดลองได้ 2 วิธีคือ

1. ควบคุมความเร็วรอบในการปั่นกวน
2. ควบคุมค่าลึงบิตในการปั่นกวน

5.3.1 ผลของการควบคุมความเร็วรอบในการปั่นกวน

เมื่ออาศัยค่าลึงบิตต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด ความเร็วรอบในการปั่นกวนของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร เป็นดังนี้

1. เมื่อเทียบกับการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที ของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร จะมีความเร็วรอบในการปั่นกวนเท่ากับ 68.3 รอบต่อนาที
2. เมื่อเทียบกับการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร จะมีความเร็วรอบในการปั่นกวนเท่ากับ 84.5 รอบต่อนาที
3. เมื่อเทียบกับการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร จะมีความเร็วรอบในการปั่นกวนเท่ากับ 21.5 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

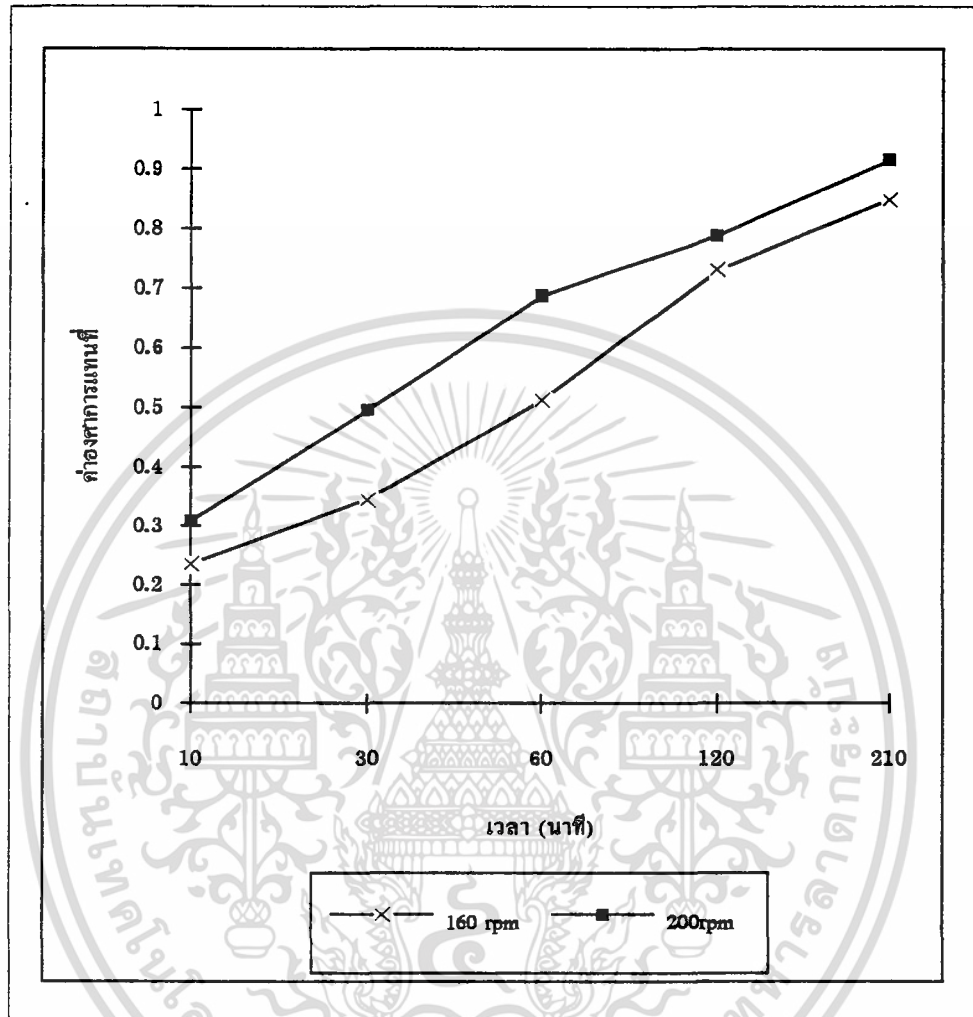
ผลการทดลองดังกราฟรูปที่ 5.3 ถึง 5.5 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลา ของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร กับ 24.7 ลิตร พบว่าค่าองศาการแทนที่ในช่วงเวลาแรก (0-150 นาที) ค่าองศาการแทนที่ของ CMC ในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร ต่ำกว่าในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร และเมื่อเวลาในการสังเคราะห์นานขึ้น ค่าองศาการแทนที่จะมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น แสดงว่ากำลังบีดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมี ในการสังเคราะห์คาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสได้จริงเมื่อเวลาในการสังเคราะห์นานกว่า 150 นาที เหตุที่ในช่วงแรกค่าองศาการแทนที่ในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร มีค่าต่ำกว่า อาจตั้งสมมติฐานได้ว่า เมื่อถังปฏิกรณ์เคมีมีขนาดใหญ่มากขึ้น โอกาสที่โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยาย้ายวัฏภาคเพื่อมาทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสจะน้อยลง จึงต้องอาศัยเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น นั่นคืออัตราการเกิดปฏิกิริยาของถังปฏิกรณ์เคมีขนาดใหญ่จะช้ากว่าถังปฏิกรณ์เคมีขนาดเล็ก ซึ่งต้องมีการศึกษาเพื่อยืนยันสมมติฐานต่อไป

5.3.2 ผลของการควบคุมกำลังบีดในการปั่นกววน

เมื่ออาศัยกำลังบีดต่อปริมาตรในการขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมี กำลังบีดในการปั่นกววนของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร เป็นดังนี้

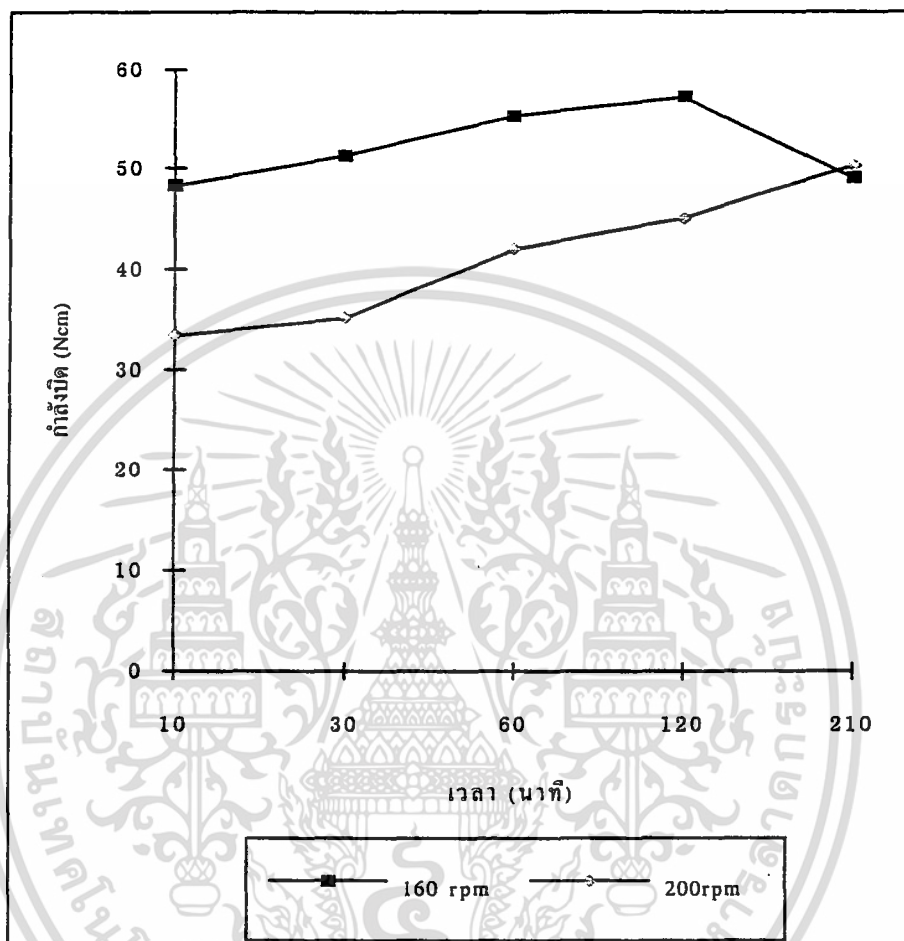
1. เมื่อเทียบกับการปั่นกววนที่ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที ของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร จะมีกำลังบีดในการปั่นกววนเท่ากับ 670.0 Ncm
2. เมื่อเทียบกับการปั่นกววนที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร จะมีกำลังบีดในการปั่นกววนเท่ากับ 532.0 Ncm
3. เมื่อเทียบกับการปั่นกววนที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ของถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร จะมีกำลังบีดในการปั่นกววนเท่ากับ 95.0 Ncm

ผลการทดลองดังกราฟที่ 5.6 ถึง 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่เทียบกับเวลาได้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการควบคุมความเร็วรอบในการปั่นกววน เป็นการยืนยันผลการทดลองที่ว่า ตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมีในการสังเคราะห์คาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสคือ กำลังบีดต่อปริมาตร



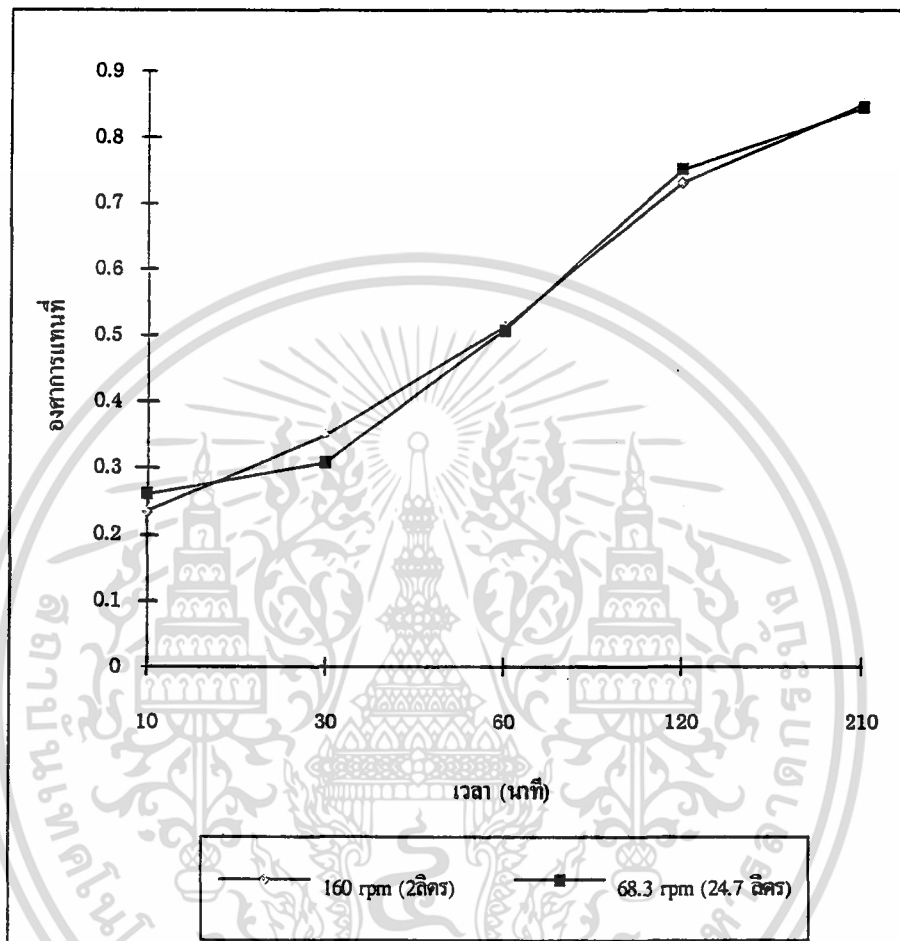
รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลา
ของการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 160 กับ 200 รอบต่อนาที
ถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร
เซลล์โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



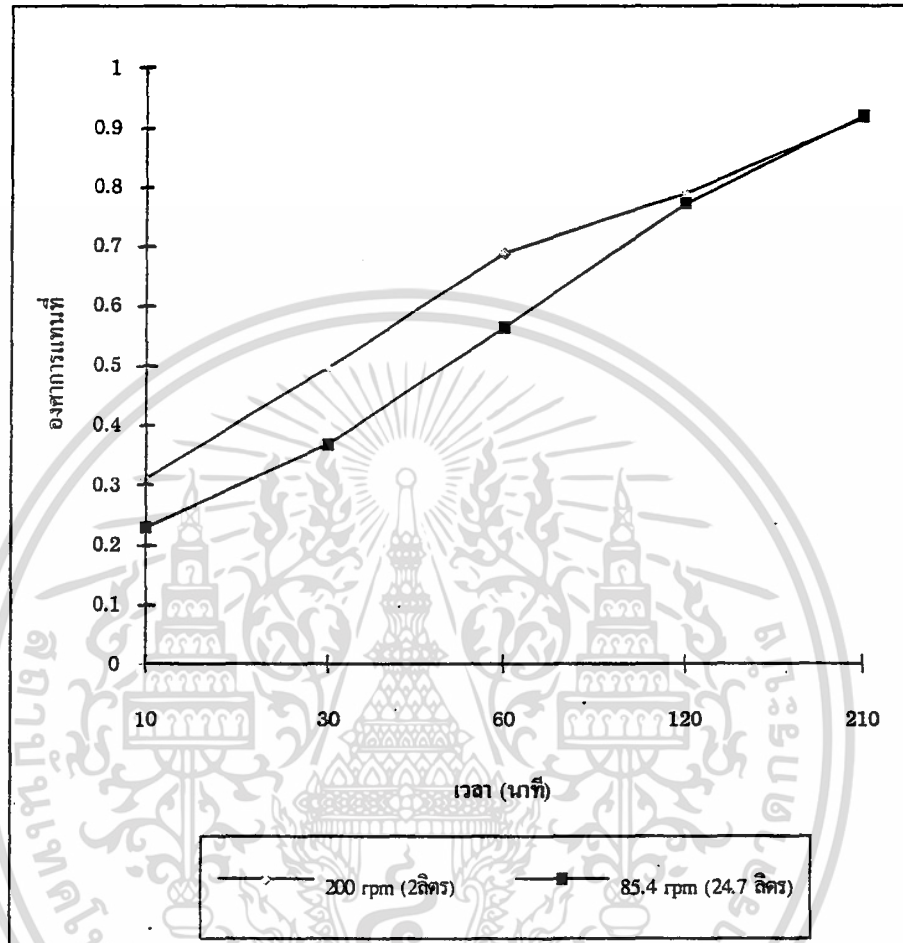
รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังบิดกับเวลา
ของการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 160 และ 200 รอบต่อนาที
ถึงปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร
เซลล์ulosชนิดเส้นใยจากเยื่อกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



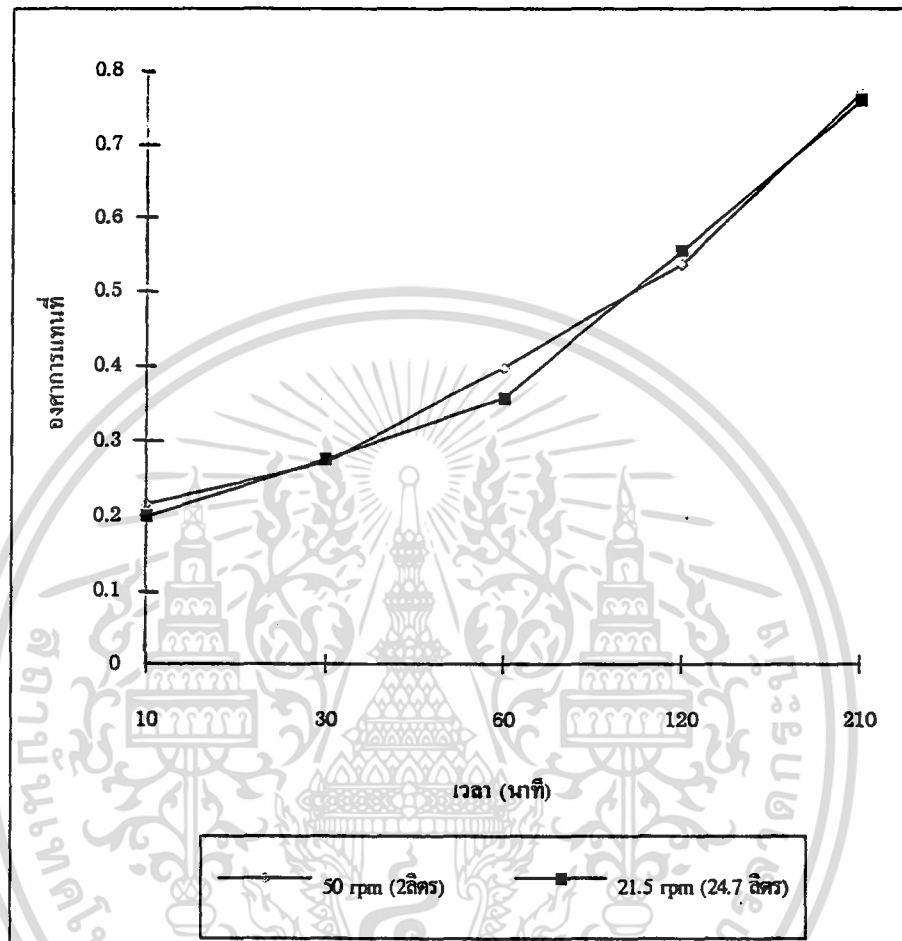
รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลาของการปั่นกวนที่ความเร็ว 160 รอบต่อนาที ถึงปฏิกรณ์เคมี 2 ลิตร เทียบกับที่ความเร็ว 68.3 รอบต่อนาที ถึงปฏิกรณ์เคมี 24.7 ลิตร เซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



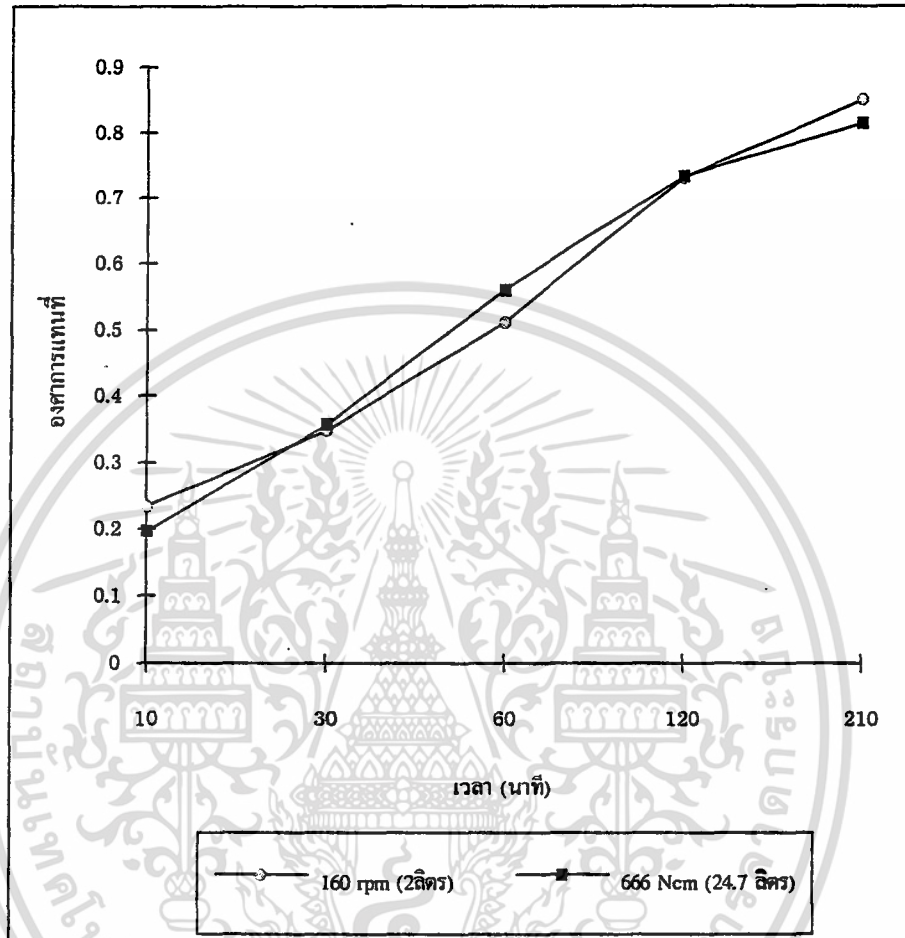
รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลาการปั่นกวนที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ถึงปฏิกรณ์เคมี 2 ลิตร เทียบกับที่ความเร็ว 85.4 รอบต่อนาที ถึงปฏิกรณ์เคมี 24.7 ลิตร
เซลล์ulos จากเชื้อกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



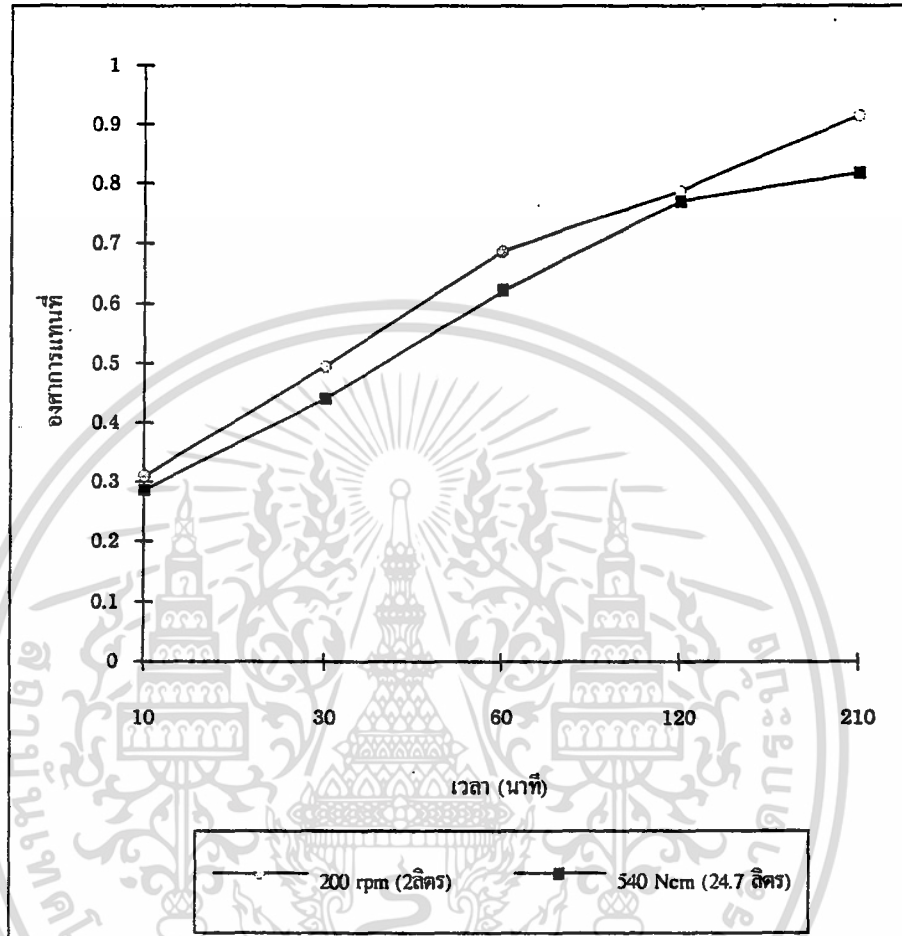
รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลาของการปั่นกวนที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที ถึงปฏิกรณ์เคมี 2 ลิตร เทียบกับที่ความเร็ว 21.5 รอบต่อนาที ถึงปฏิกรณ์เคมี 24.7 ลิตร
เซลล์โลสชนิดผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



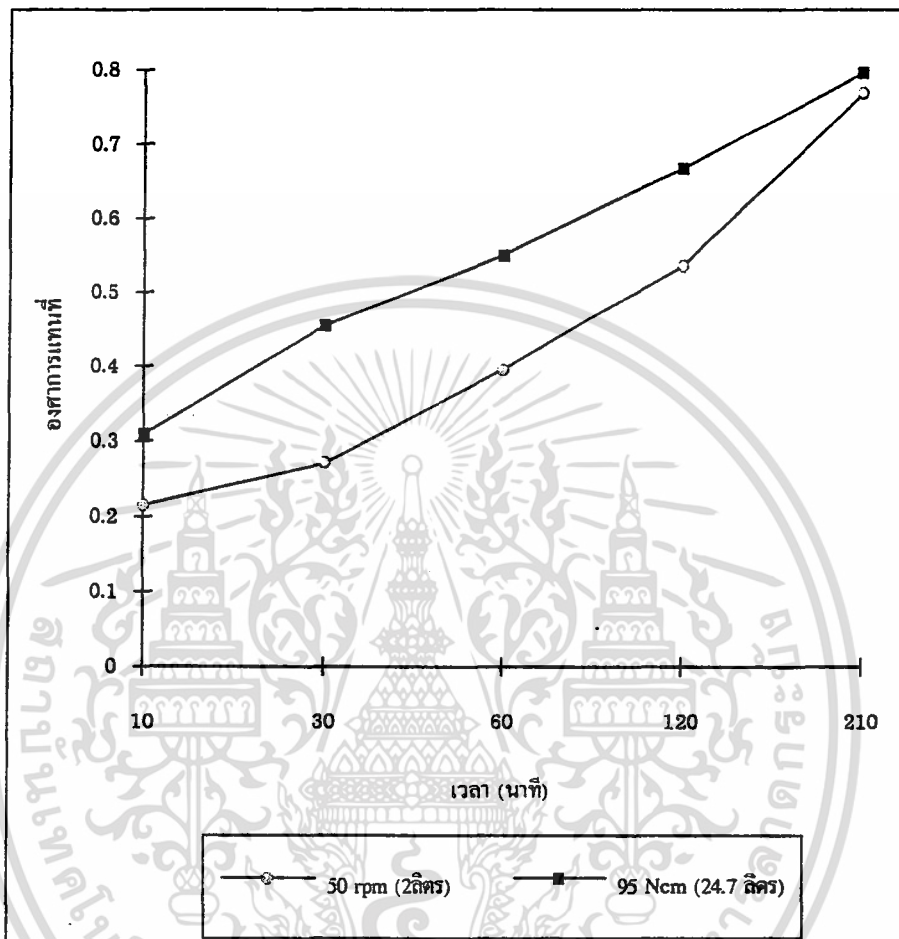
รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลา โดยควบคุมกำลังบิดในการปั่นกวนที่ 666 Ncm ถึงปฏิกรณ์เคมี 24.7 ลิตร เทียบกับการปั่นกวนที่ความเร็ว 160 รอบต่อนาที ถึงปฏิกรณ์เคมี 2 ลิตร
เซลลูโลสจากเชื้อกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลา โดยควบคุมกำลังบิดในการปั่นกวนที่ 540 Ncm ถึงปริมาตรเคมี 24.7 ลิตร เทียบกับการปั่นกวนที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ถึงปริมาตรเคมี 2 ลิตร เซลลูโลสจากเห็กระดาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาการแทนที่กับเวลา โดยควบคุมกำลังบิดในการปั่นกวนที่ 95 Ncm ถึงปฏิกรณ์เคมี 24.7 ลิตร เทียบกับการปั่นกวนที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที ถึงปฏิกรณ์เคมี 2 ลิตร
เซลล์ulosชนิดผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของกำลังบิดต่อปริมาตร ที่มีต่อการขยายขนาดถึงปฏิกรณ์เคมี ในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฟสทรานสเฟอร์ สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

6.1 ผลของความเร็วยรอบในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร

การทดลองที่ความเร็วยรอบในการปั่นกววน 160 และ 200 รอบต่อนาที สำหรับเซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ และที่ความเร็วยรอบในการปั่นกววน 50 รอบต่อนาที สำหรับเซลลูโลสชนิดผง มีสภาวะการทดลองดังนี้

ใบพัดแบบ	anchor
อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	45 องศาเซลเซียส
อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเซลลูโลส 3.70	
อัตราส่วนโดยโมลของกรดแอสติกต่อเซลลูโลส	1.75
อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ TMAC ต่อเซลลูโลส	1.012
ปริมาตรสารละลายรวม	1847.56 ลบ.ซม.

6.1.1 ผลของความเร็วยรอบต่อค่าองศาการแทนที่

ผลที่ได้คือ การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที มีค่าองศาการแทนที่สูงกว่า การสังเคราะห์ที่ความเร็ว 160 รอบต่อนาที (ใช้เซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นเส้นใย)

6.1.2 ผลของความเร็วยรอบต่อกำลังบิด

ผลที่ได้คือ การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสด้วยเซลลูโลสชนิดเส้นใยจากเยื่อกระดาษ กำลังบิดที่เกิดจากการสังเคราะห์ด้วยการปั่นกววนที่ความเร็ว 160 รอบต่อนาที มีค่าสูงกว่าการปั่นกววนที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เนื่องจากลักษณะที่เป็นเส้นใยทำให้เกิดการบวมตัวและจับตัวเป็นก้อนในขณะที่เกิดปฏิกิริยา ซึ่งเป็นการขัดขวางการปั่นกววน

6.2 ผลของการขยายขนาดโดยใช้กำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ ในถังปฏิกรณ์เคมี

ขนาด 24.7 ลิตร

สภาวะการทดลองของถังปฏิกรณ์เคมี 24.7 ลิตร เป็นดังนี้

ไบบแพดแบบ	anchor
อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	45 องศาเซลเซียส
อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียม ไฮดรอกไซด์ต่อเซลลูโลส 3.70	
อัตราส่วนโดยโมลของกรดแอสติกต่อเซลลูโลส	1.75
อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ TMAC ต่อเซลลูโลส	1.012
ปริมาตรสารละลายรวม	23.864.28 ลบ.ซม.

6.2.1 ผลของความเร็วการปั่นกววนต่ออัตราการแทนที่

ผลคือเมื่อสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเซลลูโลสชนิดเดียวกัน ด้วยความเร็วรอบการปั่นกววนสูงกว่า ค่าอัตราการแทนที่ ณ เวลาเดียวกันจะสูงกว่า

6.3 เปรียบเทียบผลของการใช้กำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาดระหว่างถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร กับถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร

6.3.1 ผลของการขยายขนาดกับค่าอัตราการแทนที่ เมื่อควบคุมที่ความเร็วในการปั่นกววน

ผลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยเซลลูโลสทั้งสองลักษณะเหมือนกันคือ ค่าอัตราการแทนที่ ณ เวลาเดียวกัน ได้ผลใกล้เคียงกัน ดังนั้นการควบคุมการปั่นกววนด้วยความเร็วรอบ โดยใช้กำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ สามารถนำมาใช้ในการขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมีในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสได้

6.3.2 ผลของการขยายขนาดกับค่าอัตราการแทนที่ เมื่อควบคุมที่กำลังบิดในการปั่นกววน

ผลที่ได้จะเหมือนกับการควบคุมความเร็วรอบในการปั่นกววน แต่เมื่อพิจารณาถึงกำลังในการปั่นกววนแล้ว พบว่าการควบคุมที่กำลังบิดในการปั่นกววนนั้น ใช้กำลังในการปั่นกววนมากกว่า (ข้อมูลในภาคผนวก ค) และระบบที่ใช้ควบคุมมีความซับซ้อน และมีต้นทุนในการสร้างมากกว่า ดังนั้นการควบคุมระบบการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในการขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมี โดยควบคุมที่ความเร็วรอบในการปั่นกววน จึงเหมาะสมกว่าในด้านอุตสาหกรรม

6.4 ข้อเสนอแนะ

1. ทำการศึกษาอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของถึงปฏิกิริยาเคมีขนาดต่างกัน เพื่อยืนยันข้อสมมติฐานที่ว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของถึงปฏิกิริยาเคมีขนาดใหญ่ เกิดขึ้นช้ากว่าถึงปฏิกิริยาเคมีขนาดเล็ก

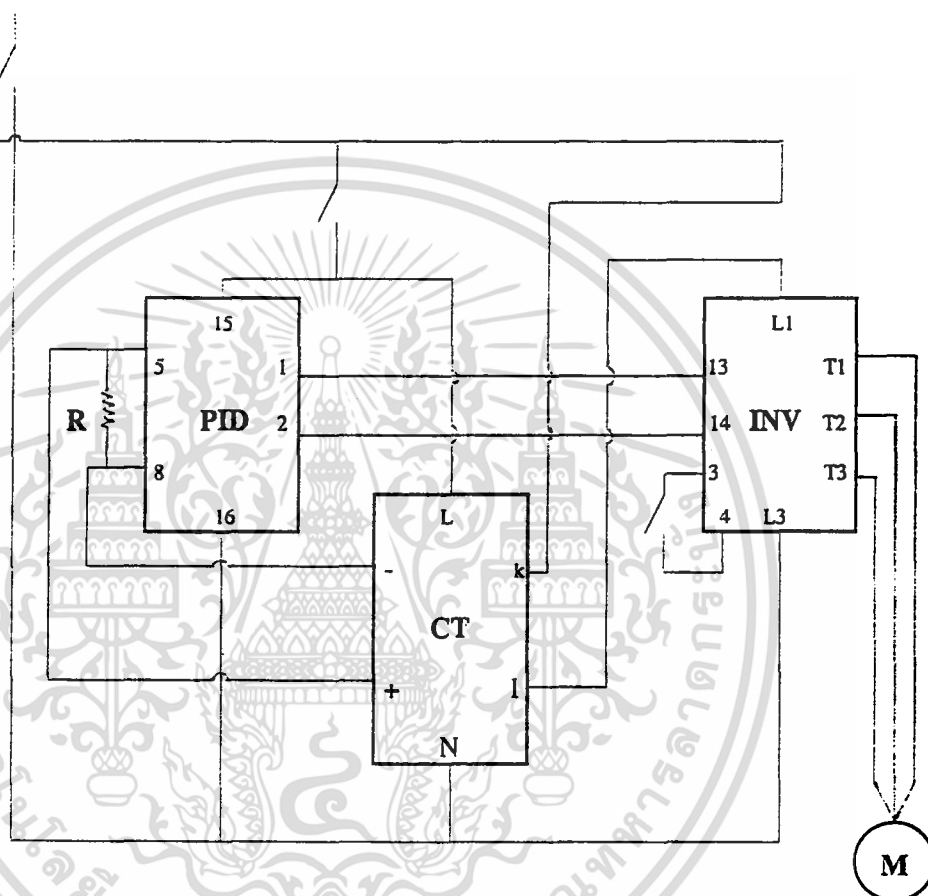
2. ทำการศึกษาผลของกำลังบิดต่อปริมาตรที่มีต่อการขยายขนาดถึงปฏิกิริยาเคมี ไปสู่ถึงปฏิกิริยาเคมีที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยควบคุมที่ความเร็วรอบในการปั่นกววน เพื่อยืนยันผลการศึกษาอีกครั้งหนึ่ง

3. ทำการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้เซลลูโลสจากแหล่งเดียวกัน แต่มีลักษณะต่างกัน เช่น เซลลูโลสจากฝ้ายในสองลักษณะคือ เส้นใยกับผง เปรียบเทียบค่าองศาการแทนที่ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้จากเซลลูโลสต่างลักษณะกัน เพื่อศึกษาผลของลักษณะของเซลลูโลส



ภาคผนวก ก
แผนผังแสดงการต่อวงจรไฟฟ้า

250 V Ac



TORQUE CONTROL WIRING DIAGRAM

- PID = PID CONTROLLER
 INV = INVERTER (Adjustable Frequency A.C. Motor Drive)
 CT = CURRENT TRANSMETER
 R = RESISTER (250 Ω 0.1% accuracy)
 M = MOTOR

รูปที่ ก.1 แสดงแผนผังการต่อวงจรไฟฟ้า ระบบควบคุมกำลังบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การเตรียมสาร

1. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 36 % (w/w)
เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 36 กรัม (0.9 โมล) ละลายในน้ำกลั่น 64 กรัม
2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเข้มข้น 0.25 นอร์มอล
เตรียมจากโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 12.7344 กรัม (0.0625 โมล) ละลายในน้ำกลั่น 250 มล.
3. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มอล
เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 9.87 กรัม (0.25 โมล) ละลายในน้ำกลั่น 500 มล. ไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับ สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเข้มข้น 0.25 นอร์มอล
4. การเตรียมสารละลายการไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.25 นอร์มอล
ดวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37 % 5.2 มล. (0.0625 โมล) ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 250 มล. ไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มอล
5. การเตรียมสารละลายเงินไนเตรดเข้มข้น 0.01 โมล/ลิตร
เตรียมจากเงินไนเตรด 1.80 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร
6. การเตรียมสารละลายไดฟีนิลามีน
เตรียมจากไดฟีนิลามีน 0.5 กรัม ละลายในกรดซัลฟูริก 9+2 ปริมาณ 125 มล.
(กรดซัลฟูริก 9+2 เตรียมโดยผสมกรดซัลฟูริก 9 ส่วนกับ น้ำ 2 ส่วน โดยปริมาตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลอง

1. ข้อมูลการปั่นกวนในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ควบคุมความเร็วรอบที่ 160 รอบต่อนาที (เซลล์โลสจากเชื้อกระดาษ)

การทดลองที่ 1 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2265 นอร์มอล
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.4471 นอร์มอล
การทดลองที่ 2 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2617 นอร์มอล
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.4552 นอร์มอล

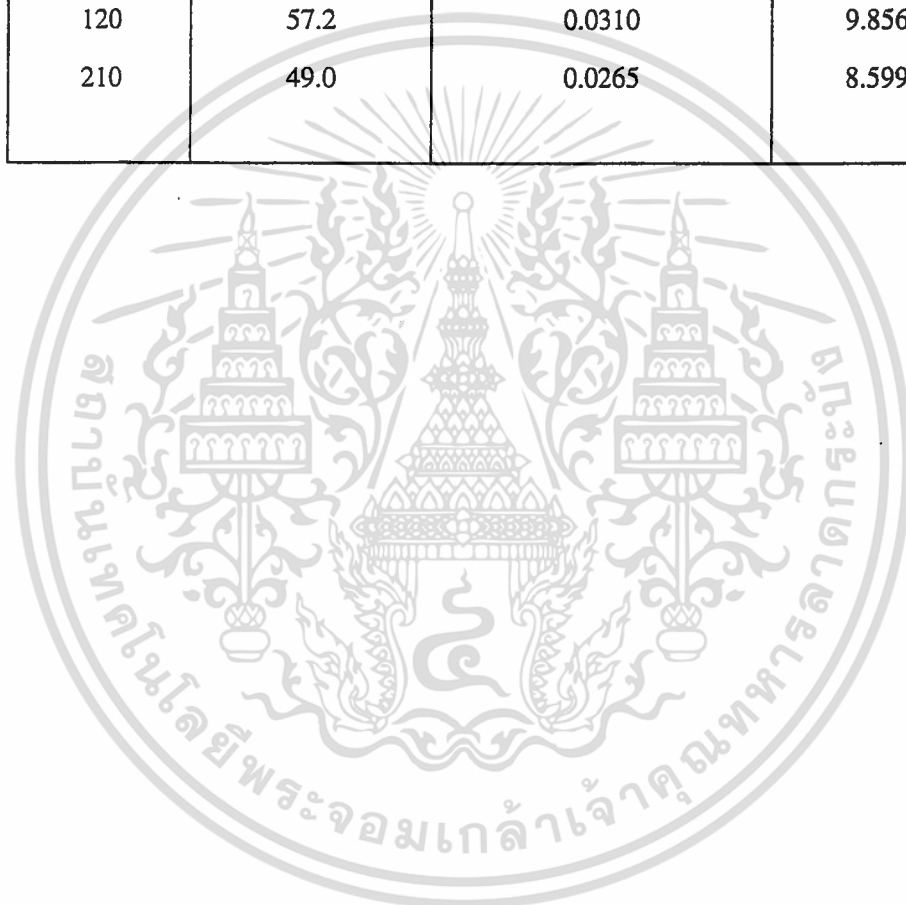
ตาราง ค.1 แสดงข้อมูลการหาค่าองศาการแทนที่ที่ความเร็วรอบการปั่นกวน 160 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			DS เฉลี่ย
	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	
10	1	0.3442	17.6	1	0.2867	16.0	0.234
	2	0.3678	17.5	2	0.2381	16.2	
	3	0.2297	18.4	3	0.2993	15.9	
30	1	0.5043	15.8	1	0.5025	13.6	0.347
	2	0.5094	15.7	2	0.5154	13.5	
	3	0.3057	17.0	3	0.3335	15.0	
60	1	0.5165	13.6	1	0.49	12.4	0.512
	2	0.5137	13.6	2	0.3064	14.3	
	3	0.3782	15.3	3	0.3318	14.0	
120	1	0.5382	11.3	1	0.3326	12.9	0.730
	2	0.534	11.2	2	0.4732	10.8	
	3	0.5325	11.3	3	0.3526	12.7	
210	1	0.5049	10.7	1	0.4936	9.8	0.850
	2	0.5025	10.8	2	0.514	9.6	
	3	0.5024	10.8	3	0.5125	9.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณเวลาต่างๆ ในการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	กำลังบิดเฉลี่ย (Ncm)	กำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย (N/cm ²)	กำลัง (watt)
10	48.2	0.0261	8.412
30	51.3	0.0278	8.819
60	55.3	0.0299	9.601
120	57.2	0.0310	9.856
210	49.0	0.0265	8.599



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ข้อมูลการปั่นกววนในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ควบคุมที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที (เซลล์โลสจากเชื้อกระดาษ)

การทดลองที่ 1	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2424	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.4552	นอร์มอล
การทดลองที่ 2	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2529	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.4552	นอร์มอล

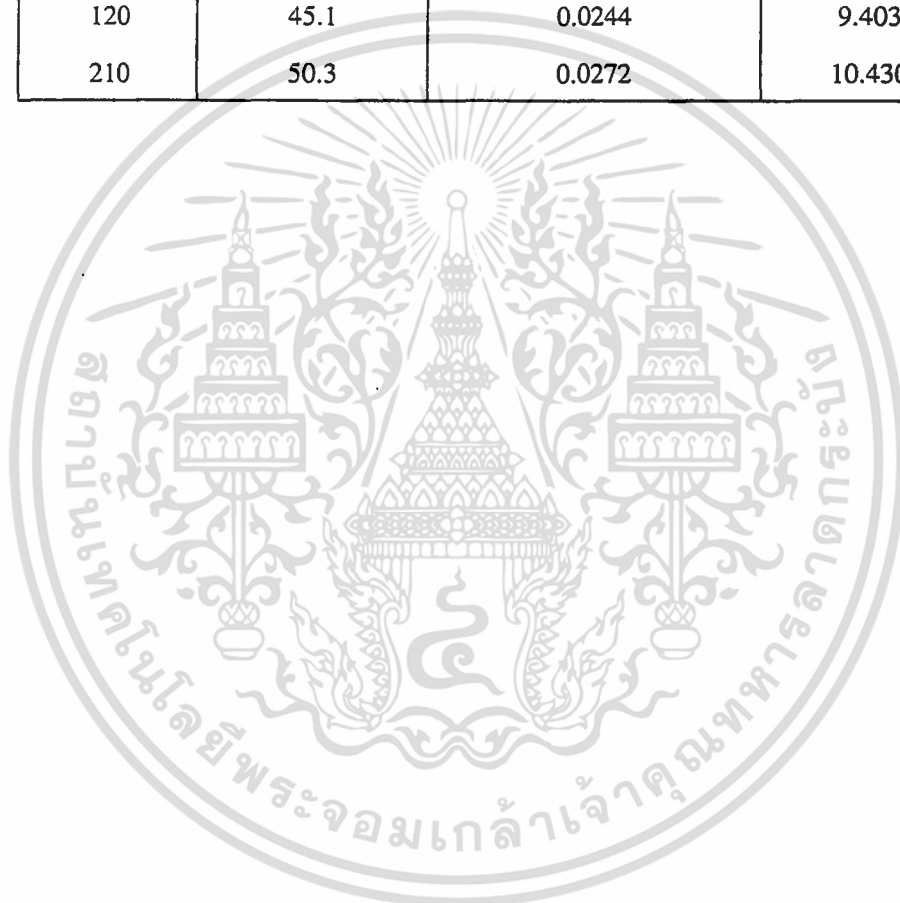
ตารางที่ ค.3 แสดงข้อมูลการหาค่าองศาการแทนที่ที่ความเร็วรอบการปั่นกววน 200 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			DS เฉลี่ย
	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	
10	1	0.4491	15.6	1	0.5181	14.6	0.309
	2	0.494	15.4	2	0.5059	14.5	
	3	0.4481	15.5	3	0.4803	14.7	
30	1	0.4277	14.3	1	0.5182	12.6	0.496
	2	0.4576	13.9	2	0.537	12.5	
	3	0.4574	13.8	3	0.5319	12.5	
60	1	0.5194	11.5	1	0.5366	10.9	0.687
	2	0.507	11.6	2	0.5031	11.2	
	3	0.537	11.2	3	0.5196	11	
120	1	0.4978	10.9	1	0.5253	10.1	0.788
	2	0.4763	11.3	2	0.5056	10.2	
	3	0.532	10.9	3	0.5148	10.2	
210	1	0.5053	9.9	1	0.5058	9.5	0.915
	2	0.5032	10	2	0.5024	9.6	
	3	0.5021	9.9	3	0.5094	9.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ ในการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	กำลังบิดเฉลี่ย (Ncm)	กำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย (N/cm ²)	กำลัง (watt)
10	33.4	0.0181	6.996
30	35.2	0.0191	7.373
60	42.0	0.0227	8.797
120	45.1	0.0244	9.403
210	50.3	0.0272	10.430



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ข้อมูลการปั่นกวนในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร ควบคุมที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที

(เซลล์โกลด์ชนิดผง)

การทดลองที่ 1	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2499	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.5152	นอร์มอล
การทดลองที่ 2	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2318	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.5152	นอร์มอล

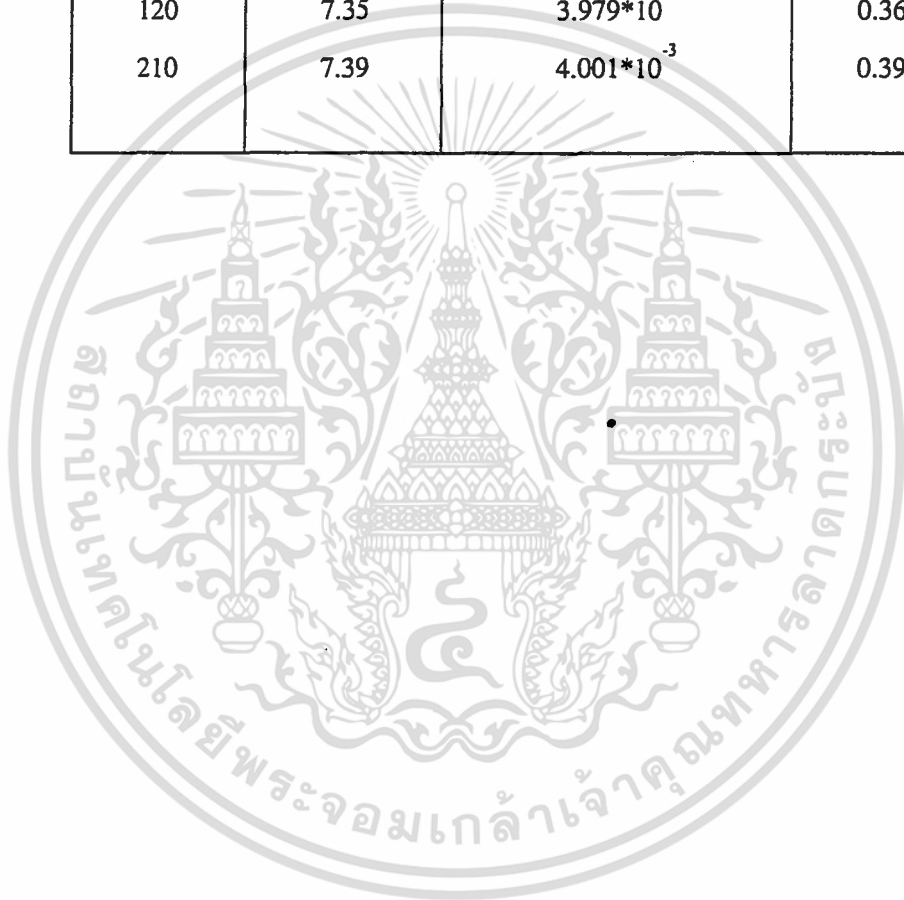
ตาราง ค.5 แสดงข้อมูลค่าองศาการแทนที่ ที่ความเร็วรอบการปั่นกวน 50 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			DS เฉลี่ย
	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	
10	1	0.4999	18.1	1	0.4961	19.6	0.215
	2	0.5052	18.1	2	0.5021	19.7	
	3	0.5039	18	3	0.5084	19.6	
30	1	0.4989	17.5	1	0.5063	18.9	0.271
	2	0.5007	17.5	2	0.5015	19	
	3	0.5037	17.5	3	0.5064	19	
60	1	0.5106	16.3	1	0.512	17.5	0.397
	2	0.5031	16.4	2	0.4981	17.5	
	3	0.495	16.3	3	0.5012	17.6	
120	1	0.454	15.5	1	0.5025	16.2	0.536
	2	0.4779	15.2	2	0.5012	16.3	
	3	0.3652	16.7	3	0.4832	16.4	
210	1	0.5011	13.2	1	0.5065	14.1	0.769
	2	0.49	13.2	2	0.5045	14.1	
	3	0.5033	13.3	3	0.4995	14.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ ในการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	กำลังบิดเฉลี่ย (Ncm)	กำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย (N/cm ²)	กำลัง (watt)
10	7.33	3.968×10^{-3}	0.372
30	7.31	3.958×10^{-3}	0.372
60	7.42	4.017×10^{-3}	0.424
120	7.35	3.979×10^{-3}	0.361
210	7.39	4.001×10^{-3}	0.398



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ข้อมูลการปนเปื้อนในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร จากการควบคุมที่ความเร็วรอบ 68.3 รอบต่อนาที เทียบมาจากความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที โดยใช้กำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด (เซลล์โลสจากเชื้อกระดาษ)

การทดลองที่ 1	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2529	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.4471	นอร์มอล
การทดลองที่ 2	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2529	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.4552	นอร์มอล

ตาราง ค.7 แสดงข้อมูลค่าองศาการแทนที่ ที่เกี่ยวกับการปั่นด้วยความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			DS เฉลี่ย
	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	
10	1	0.5027	14.9	1	0.4986	15.1	0.259
	2	0.5116	14.8	2	0.5064	15.1	
	3	0.4681	14.9	3	0.4891	15	
30	1	0.5133	14.1	1	0.5012	14.6	0.306
	2	0.5094	14.2	2	0.5142	14.6	
	3	0.507	14.3	3	0.5026	14.7	
60	1	0.4958	12.4	1	0.5024	12.7	0.507
	2	0.5091	12.4	2	0.5051	12.8	
	3	0.5086	12.3	3	0.4812	13.0	
120	1	0.494	10.5	1	0.5062	10.8	0.75
	2	0.4947	10.4	2	0.5042	10.8	
	3	0.5062	10.4	3	0.505	10.7	
210	1	0.4858	10.2	1	0.5081	10	0.844
	2	0.4356	10.8	2	0.5024	9.9	
	3	0.5005	9.8	3	0.4912	10.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ ในการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 68.3 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	กำลังบิดเฉลี่ย (Ncm)	กำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย (N/cm ²)	กำลัง (watt)
10	683.127	0.0286	48.863
30	705.007	0.0295	50.428
60	700.827	0.0294	50.129
120	697.098	0.0292	49.862
210	701.749	0.0294	50.195



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ข้อมูลการปั่นกวนในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร ควบคุมที่ความเร็วรอบ 85.4 เทียบผลกับการปั่นกวนด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที โดยใช้กำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด (เซลล์ูโลสจากเชื้อกระดาษ)

การทดลองที่ 1	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2481	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.4999	นอร์มอล
การทดลองที่ 2	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2617	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.4552	นอร์มอล

ตาราง ก.9 แสดงข้อมูลการหาค่าองศาการแทนที่ที่ความเร็วรอบการปั่นกวน 160 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			DS เฉลี่ย
	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	
10	1	0.5075	17.5	1	0.5012	14.9	0.228
	2	0.5458	17.4	2	0.5035	14.7	
	3	0.5021	17.4	3	0.4981	15.1	
30	1	0.4351	16.6	1	0.5124	13.5	0.368
	2	0.4585	16.3	2	0.5061	13.5	
	3	0.5253	16	3	0.5042	13.6	
60	1	0.5129	14.1	1	0.5041	11.9	0.562
	2	0.5115	14.2	2	0.5024	11.9	
	3	0.5111	14.2	3	0.5103	11.7	
120	1	0.4919	12.8	1	0.5074	10.2	0.77
	2	0.492	12.7	2	0.5023	10.2	
	3	0.4958	12.7	3	0.5092	10.2	
210	1	0.4992	11.6	1	0.4928	9.3	0.919
	2	0.4818	11.8	2	0.5071	9	
	3	0.4963	11.7	3	0.4961	9.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ ในการปั่นกวานที่ ความเร็วรอบ 85.4 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	กำลังบิดเฉลี่ย (Ncm)	กำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย (N/cm ²)	กำลัง (watt)
10	827.401	0.0347	74.000
30	831.147	0.0348	74.335
60	834.781	0.0350	74.660
120	826.585	0.0346	73.927
210	850.322	0.0356	76.053



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ข้อมูลการปั่นกวนในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร ควบคุมที่ความเร็วรอบ 21.5 เทียบกับที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที โดยอาศัยกำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด (เซลล์ โลสมอนิตอง)

การทดลองที่ 1	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2318	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.5152	นอร์มอล
การทดลองที่ 2	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2617	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.5152	นอร์มอล

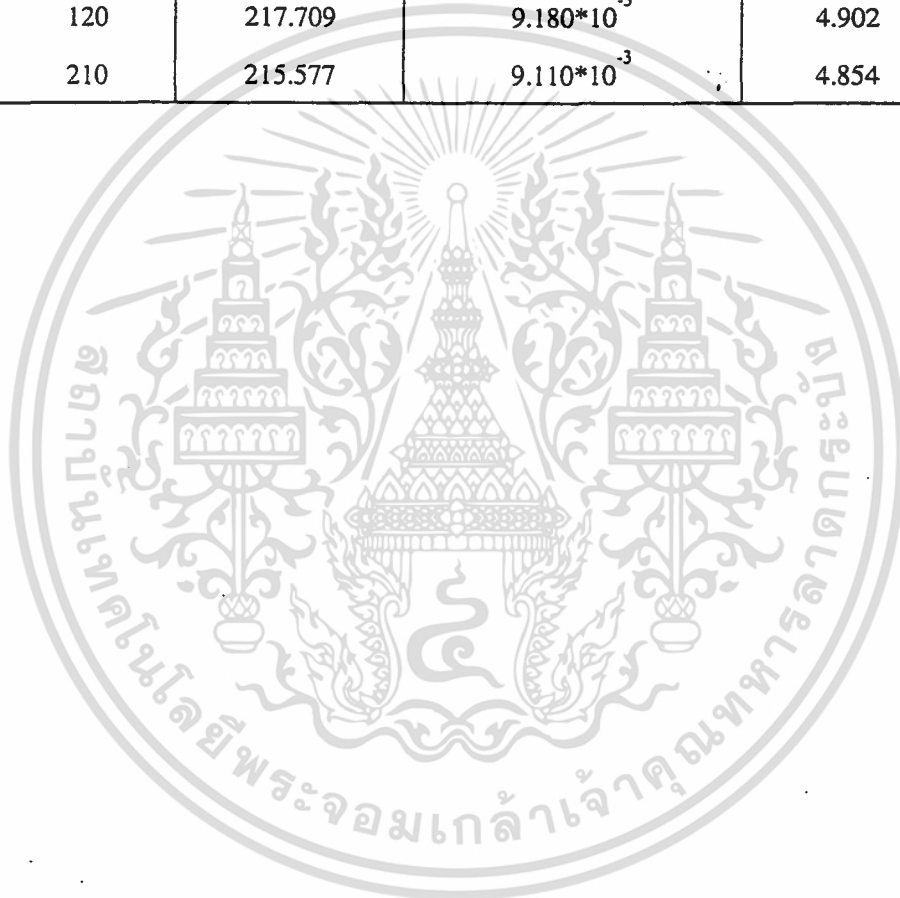
ตาราง ค.11 แสดงข้อมูลการหาค่าองศาการแทนที่ที่ความเร็วรอบการปั่นกวน 160 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			DS เฉลี่ย
	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	
10	1	0.5152	19.7	1	0.5054	17.5	0.198
	2	0.4858	19.9	2	0.5124	17.5	
	3	0.4921	19.7	3	0.495	17.5	
30	1	0.5207	19	1	0.51	16.6	0.275
	2	0.5011	18.8	2	0.5082	16.7	
	3	0.5347	18.6	3	0.5061	16.7	
60	1	0.5183	17.8	1	0.5031	15.9	0.356
	2	0.5227	17.8	2	0.5034	16	
	3	0.4987	18.1	3	0.4934	16	
120	1	0.5279	16	1	0.5102	14.3	0.554
	2	0.5103	15.8	2	0.513	14.2	
	3	0.5228	15.5	3	0.5024	14.1	
210	1	0.5199	13.8	1	0.5037	12.8	0.758
	2	0.5392	13.8	2	0.5061	12.6	
	3	0.5191	13.9	3	0.5042	12.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ ในการปั่นกวนที่ ความเร็วรอบ 85.4 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	กำลังบิดเฉลี่ย (Ncm)	กำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย (N/cm ²)	กำลัง (watt)
10	215.178	$9.017 \cdot 10^{-3}$	4.845
30	217.887	$9.149 \cdot 10^{-3}$	4.906
60	216.421	$9.107 \cdot 10^{-3}$	4.873
120	217.709	$9.180 \cdot 10^{-3}$	4.902
210	215.577	$9.110 \cdot 10^{-3}$	4.854



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ข้อมูลการปั่นกวนในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร ความคุมกำลังบิดที่ 6.66 Nm เทียบมาจากความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที โดยอาศัยกำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด (เซลล์โลสจากเชื้อกระดาษ)

การทดลองที่ 1	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2489	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.5152	นอร์มอล
การทดลองที่ 2	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2489	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.4999	นอร์มอล

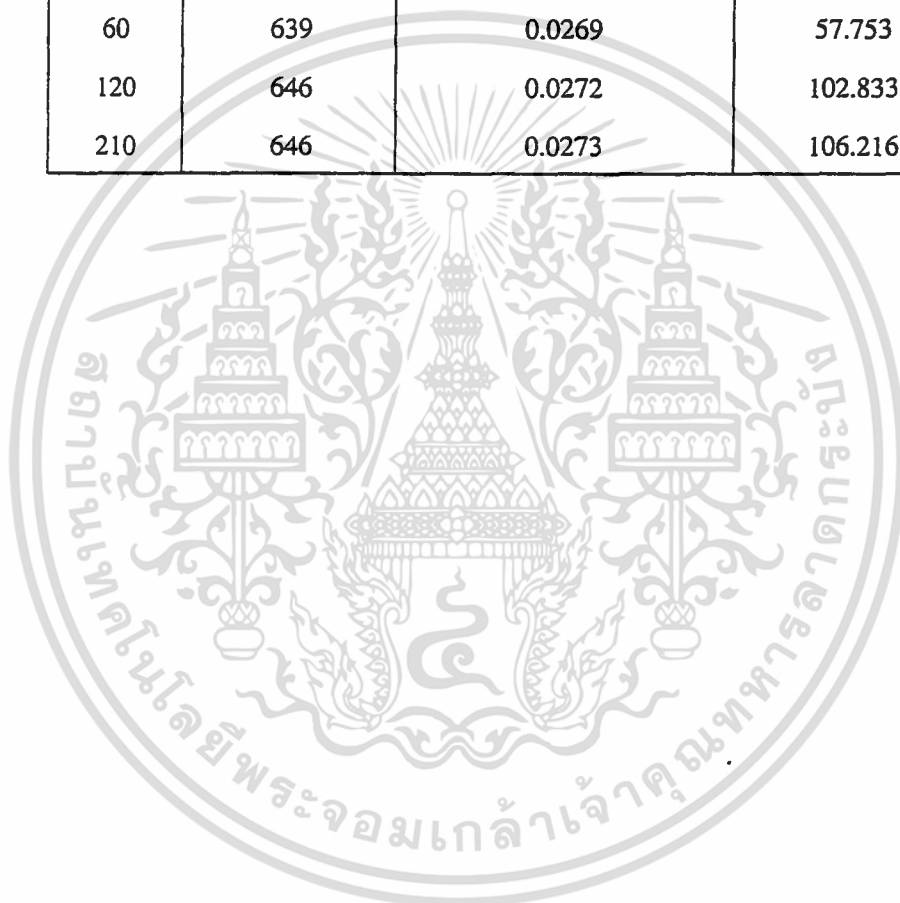
ตาราง ค.13 แสดงข้อมูลการหาค่าองศาการแทนที่ เทียบจากความเร็วรอบการปั่นกวนที่ 160 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			DS เฉลี่ย
	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	
10	1	0.491	18.5	1	0.4812	17.8	0.196
	2	0.5099	18.5	2	0.5012	17.8	
	3	0.511	18.3	3	0.5105	17.8	
30	1	0.5083	16.9	1	0.5025	16.1	0.356
	2	0.4973	17	2	0.5304	15.7	
	3	0.4902	17	3	0.512	15.8	
60	1	0.5061	14.9	1	0.4932	14.5	0.561
	2	0.4994	14.9	2	0.5082	14.3	
	3	0.5122	14.4	3	0.498	14.4	
120	1	0.5314	13.3	1	0.5103	12.9	0.732
	2	0.4707	13.9	2	0.5131	12.7	
	3	0.5203	13	3	0.5043	12.7	
210	1	0.4911	12.9	1	0.5081	12.3	0.814
	2	0.5388	12.3	2	0.5091	12.1	
	3	0.5376	12.4	3	0.4969	12.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.14 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ เทียบกับการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	กำลังบิดเฉลี่ย (Ncm)	กำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย (N/cm ²)	กำลัง (watt)
10	655	0.0274	57.278
30	684	0.0287	62.034
60	639	0.0269	57.753
120	646	0.0272	102.833
210	646	0.0273	106.216



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ปั่นกวนในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร ความดันที่กำลังบิด 5.4 Nm เทียบจากการควบคุมที่ 200 รอบต่อนาที โดยอาศัยกำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด (เซลล์โลสจากเชื้อกระดาษ)

การทดลองที่ 1	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2677	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.5152	นอร์มอล
การทดลองที่ 2	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2617	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.4552	นอร์มอล

ตาราง ก.15 แสดงข้อมูลการหาค่าองศาการแทนที่ เทียบที่ความเร็วรอบการปั่นกวน 200 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			DS เฉลี่ย
	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	
10	1	0.4941	16.3	1	0.5064	14.3	0.286
	2	0.4908	16.3	2	0.5152	14.3	
	3	0.5024	16.3	3	0.5214	14.1	
30	1	0.5059	14.8	1	0.5048	12.8	0.441
	2	0.499	14.9	2	0.5014	12.8	
	3	0.5085	14.8	3	0.4982	13.0	
60	1	0.4954	13.6	1	0.5012	11.4	0.621
	2	0.5066	13.3	2	0.5012	11.4	
	3	0.5268	13.1	3	0.4671	11.6	
120	1	0.5193	12.0	1	0.5096	10.2	0.771
	2	0.4882	12.5	2	0.5071	10.2	
	3	0.5372	11.6	3	0.5054	10.2	
210	1	0.4946	11.3	1	0.5132	9.0	0.918
	2	0.4988	11.4	2	0.5125	9.1	
	3	0.5003	11.3	3	0.5031	9.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.16 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ เทียบกับการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	กำลังบิดเฉลี่ย (Ncm)	กำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย (N/cm ²)	กำลัง (watt)
10	511	0.0214	72.055
30	526	0.0221	73.320
60	550.3	0.0231	73.249
120	550	0.0232	110.073
210	548.6	0.0232	111.315

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ข้อมูลการปั่นกวนในถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 2.4.7 ลิตร ความคุมที่กำลังบิด 0.95 Nm เทียบกับ การปั่นด้วยความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที โดยอาศัยกำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาด (เซลล์โลสชนิดผง)

การทดลองที่ 1	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2318	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.5152	นอร์มอล
การทดลองที่ 2	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	0.2617	นอร์มอล
	โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น	0.5152	นอร์มอล

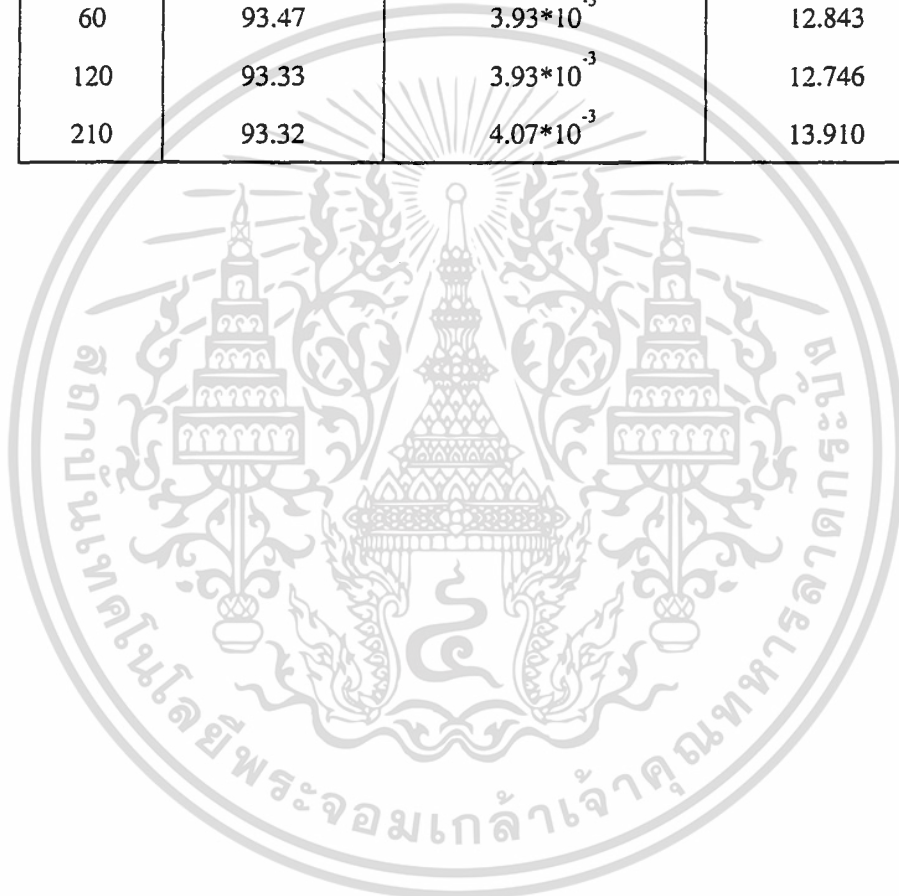
ตาราง ค.17 แสดงข้อมูลการหาค่าองศาการแทนที่ เทียบที่ความเร็วรอบการปั่นกวน 50 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			DS เฉลี่ย
	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	ครั้งที่	นน. CMC (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	
10	1	0.5165	18.7	1	0.5165	16.3	0.309
	2	0.5004	18.5	2	0.5027	16.3	
	3	0.5075	18.5	3	0.5042	16.2	
30	1	0.5358	16.7	1	0.5092	15.1	0.455
	2	0.4826	17.1	2	0.5137	14.8	
	3	0.3842	18.3	3	0.5056	15	
60	1	0.5062	16.1	1	0.4982	14.7	0.55
	2	0.4936	16	2	0.5046	14.3	
	3	0.4869	16	3	0.5139	14	
120	1	0.5187	15	1	0.4987	13.2	0.668
	2	0.5015	15.1	2	0.4861	13.4	
	3	0.5151	15.1	3	0.5073	13	
210	1	0.5316	13.6	1	0.5135	12.3	0.796
	2	0.5023	14	2	0.5201	12	
	3	0.5056	13.9	3	0.5125	12	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.18 แสดงกำลังบิด และกำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย ณ.เวลาต่างๆ เทียบกับการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที

เวลา (นาที)	กำลังบิดเฉลี่ย (Ncm)	กำลังบิดต่อปริมาตรเฉลี่ย (N/cm ²)	กำลัง (watt)
10	94.88	$3.97 \cdot 10^{-3}$	13.166
30	98.45	$4.13 \cdot 10^{-3}$	13.228
60	93.47	$3.93 \cdot 10^{-3}$	12.843
120	93.33	$3.93 \cdot 10^{-3}$	12.746
210	93.32	$4.07 \cdot 10^{-3}$	13.910



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
ตัวอย่างการคำนวณ

จากข้อมูลการทดลองในตาราง ค.1 ที่เวลา 210 นาที

I. การหาค่าองศาการแทนที่ [8]

$$A = \frac{(BC-DE)}{F}$$

เมื่อ A : กรัมสมมูลของรูปกรดที่ใช้ได้น้ำหนักเป็นกรัมของสารตัวอย่า
B : มล. ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
C : ความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
D : ปริมาตรเป็น มล. ของกรดไฮโดรคลอริก
E : ความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก
F : น้ำหนักเป็นกรัมของ CMC ในรูปกรด

$$\text{องศาการแทนที่} = \frac{0.162A}{1-0.058A}$$

162 : น้ำหนักโมเลกุลของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสของเซลลูโลส
กลูโคสของแต่ละหมู่หมู่คาร์บอกซิเมทิลที่แทนที่

การทดลองที่ 1 ที่เวลา 210 นาที

$$\begin{aligned} \text{ครั้งที่ 1 } B &= 10.00 \text{ มล.} \\ C &= 0.4471 \text{ นอร์มัล} \\ D &= 10.7 \text{ มล.} \\ E &= 0.2265 \text{ นอร์มัล} \\ F &= 0.5049 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } A = 4.055$$

$$\text{แทนค่า A ในสูตร} = (0.162 \times 4.055) / (1 - (0.058 \times 4.055))$$

$$\text{ดังนั้นครั้งที่ 1 DS} = 0.859$$

$$\text{ครั้งที่ 2 DS} = 0.852$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ครั้งที่ 3 DS} = 0.852$$

การทดลองที่ 2

$$\text{ครั้งที่ 1 DS} = 0.851$$

$$\text{ครั้งที่ 2 DS} = 0.835$$

$$\text{ครั้งที่ 3 DS} = 0.852$$

$$\therefore \text{ค่าองศาการแทนที่เฉลี่ย} = 0.850$$

2. การคำนวณหาค่าลึงบิด ค่าลึงบิดต่อปริมาตร ค่าลึง ค่าลึงต่อปริมาตรความเร็วปลายใบพัด และความเร็วรอบ

$$2.1 \text{ ค่าลึงบิด } (T_Q) = \text{ค่าลึงบิด ณ เวลาใดๆ} - \text{ค่าลึงบิดของถังเปล่า}$$

การทดลองที่ 1 ในถังปฏิกรณ์เคมี 2 ลิตร ณ ความเร็ว 200 รอบต่อนาที

$$\text{ค่าลึงบิด} = 67.74 - 32.2 \text{ Ncm}$$

$$= 34.54 \text{ Ncm}$$

$$= 0.345 \text{ Nm}$$

2.2 ค่าลึงบิดต่อปริมาตร

$$= T_Q / V$$

การทดลองที่ 1 ในถังปฏิกรณ์เคมี 2 ลิตร ณ ความเร็ว 200 รอบต่อนาที

$$\text{ค่าลึงบิดต่อปริมาตร} = \frac{34.54 \text{ Ncm}}{1847.56 \text{ cm}^2}$$

$$= 0.0186 \text{ Ncm}^{-1}$$

2.3 ค่าลึง

คำนวณจากค่าลึงบิด

$$\text{จากสูตร } T_Q = \frac{I * V * PF * \%EFF}{6.0464 * RPM} \text{ Nm}$$

$$6.0464 * RPM$$

$$\text{เมื่อ } T_Q = \text{ค่าลึงบิด (Nm)}$$

$$I = \text{กระแส (Apm)}$$

$$V = \text{ความต่างศักย์ (โวลต์)}$$

$$PF = \text{Porwer factor}$$

$$\%EFF = \text{เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของมอเตอร์}$$

$$RPM = \text{ความเร็วรอบของใบพัด (รอบต่อนาที)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 ในถังปฏิกรณ์เคมี 24.7 ลิตร ณ ความเร็ว 200 รอบต่อนาที

$$\text{กำลังบิด} = \frac{3.54 \cdot 192.8 \cdot 0.8 \cdot 73.5}{6.0464 \cdot 123.3} \quad \text{Nm}$$

$$= 53.6 \quad \text{Nm}$$

$$\text{ดังนั้นกำลังบิดที่ใช้กับสารจริง} = 53.6 - 49.04 = 4.5 \quad \text{Nm}$$

2.4 กำลัง

$$\text{สูตรกำลัง} = \frac{I \cdot V \cdot \text{PF} \cdot \% \text{EFF}}{57.735}$$

การทดลองที่ 2 ในถังปฏิกรณ์เคมี 24.7 ลิตร ณ ความเร็ว 200 รอบต่อนาที

$$= 695.101 \quad (\text{Watt})$$

$$\text{กำลังที่ใช้กับสารจริง} = 695.101 - 633.244 \quad (\text{Watt})$$

$$= 61.857 \quad (\text{Watt})$$

3. การขยายขนาด

เมื่อพิจารณาเกณฑ์ในการขยายเป็น กำลังบิดต่อปริมาตร และความเร็วรอบ จากตารางที่

2.2 จะได้

$$\text{กำลังบิดในถังปฏิกรณ์ขนาดใหญ่} = K \cdot \text{กำลังบิดในถังปฏิกรณ์ขนาดเล็ก}$$

$$\text{ความเร็วรอบของใบพัด} = K^{-1/3} \cdot \text{ความเร็วรอบของใบพัดในถังปฏิกรณ์ขนาดเล็ก}$$

$$\text{ปริมาตรของสารทั้งหมดในถังปฏิกรณ์เคมีขนาดใหญ่} = 23864.28 \quad \text{มล.}$$

$$\text{ปริมาตรของสารทั้งหมดในถังปฏิกรณ์เคมีขนาดเล็ก} = 1847.56 \quad \text{มล.}$$

$$\text{ดังนั้นค่า } K = \frac{23864.28}{1847.56}$$

$$= 12.92$$

$$\text{ถ้ากำลังบิดในการปั่นกวนของถังปฏิกรณ์เคมีขนาดเล็ก} = 0.345 \quad \text{Nm}$$

$$\text{และความเร็วในการปั่นกวนของถังปฏิกรณ์เคมีขนาดเล็ก} = 200 \quad \text{rpm}$$

เมื่อใช้กำลังบิดต่อปริมาตรเป็นเกณฑ์ในการขยายขนาดจะได้

$$\text{กำลังบิดในถังปฏิกรณ์ขนาดใหญ่} = 12.92 \cdot 0.345 \quad \text{Nm}$$

$$= 4.46 \quad \text{Nm}$$

$$\text{ความเร็วรอบของใบพัด} = (12.92)^{-1/3} \cdot 200 \quad \text{rpm}$$

$$= 85.233 \quad \text{rpm}$$

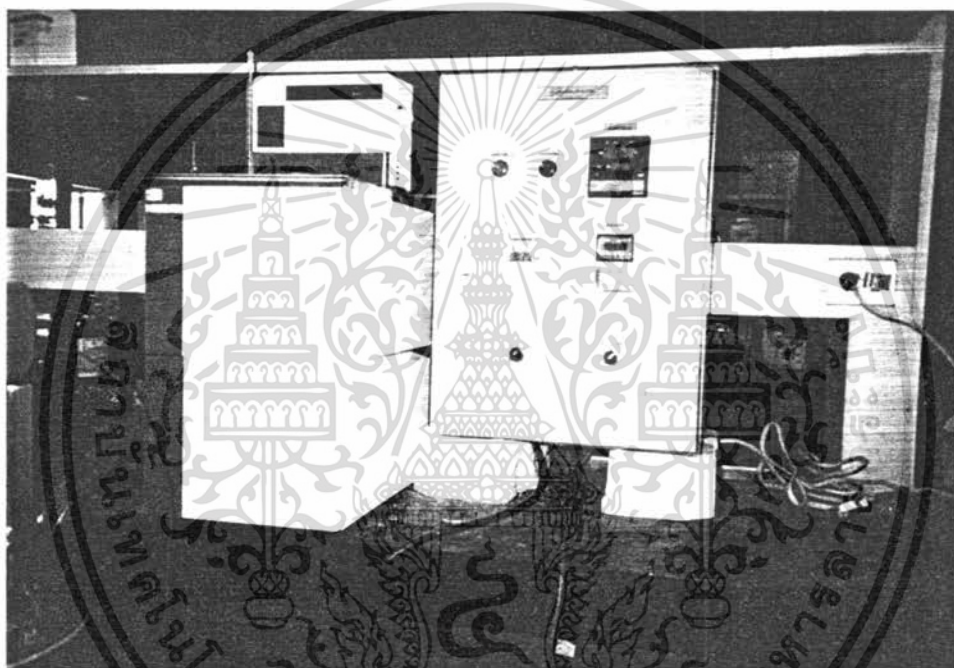
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
ประมวลภาพถ่ายอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ จ.1 แสดงภาพรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการขยายขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



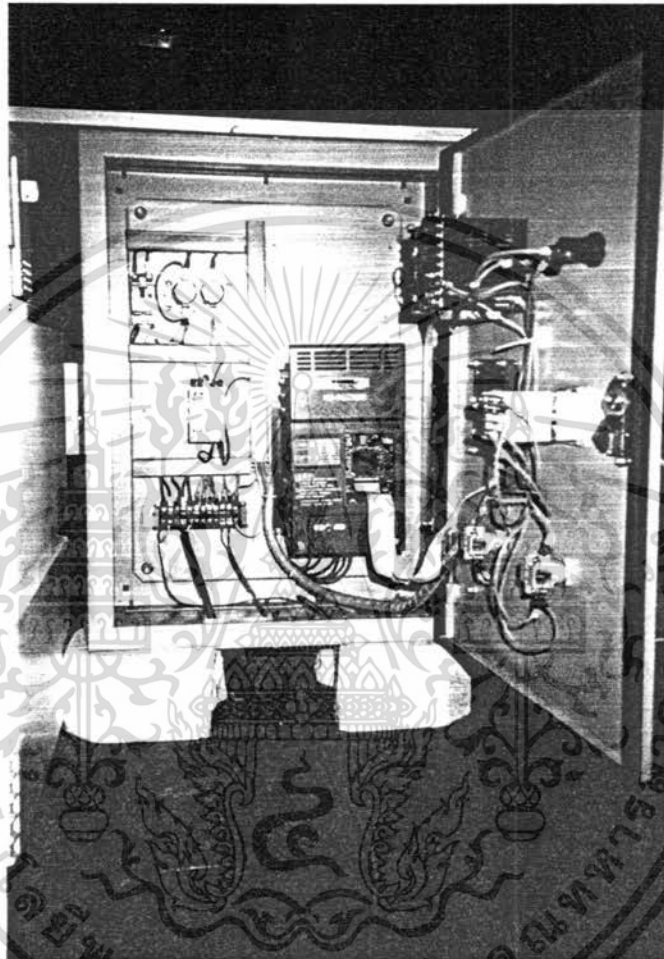
รูปที่ จ.2 แสดงภาพตู้ควบคุมกำลังบิดและความเร็วในการปั่นกววน (ขวา)
และภาพเครื่องควบคุมอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์เคมี (ซ้าย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.3 แสดงภาพตู้ควบคุมกำลังบิดและความเร็วในการปั่นกว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



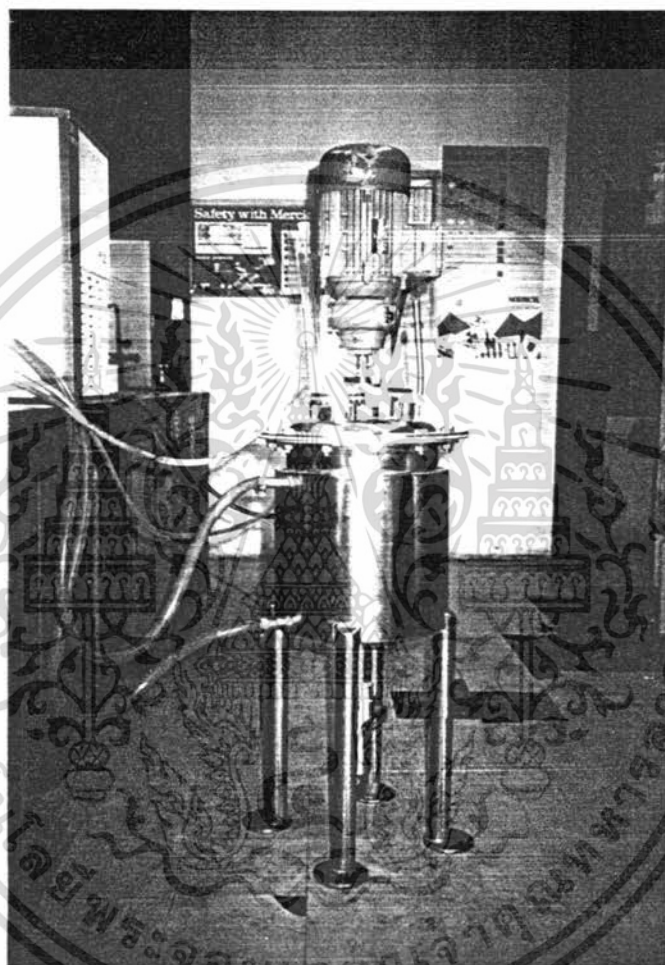
รูปที่ จ.4 แสดงภาพภายในตู้ควบคุมกำลังบิดและความเร็วในการปั่นกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



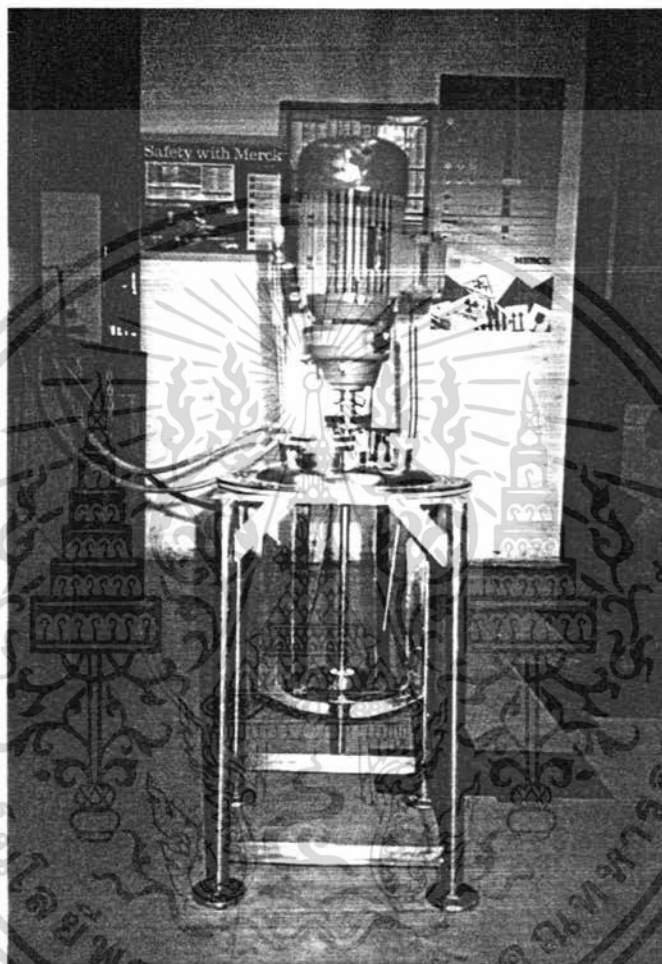
รูปที่ จ.5 แสดงภาพเครื่องควบคุมอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์เคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



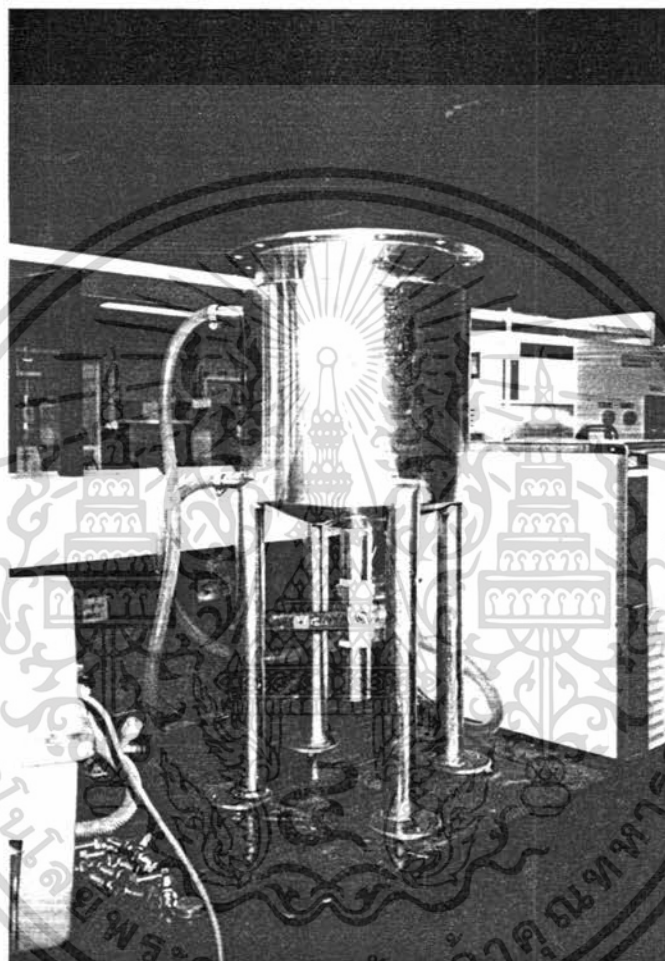
รูปที่ จ.6 แสดงภาพโดยรวมของถังปฏิกรณ์เคมีพร้อมมอเตอร์กระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



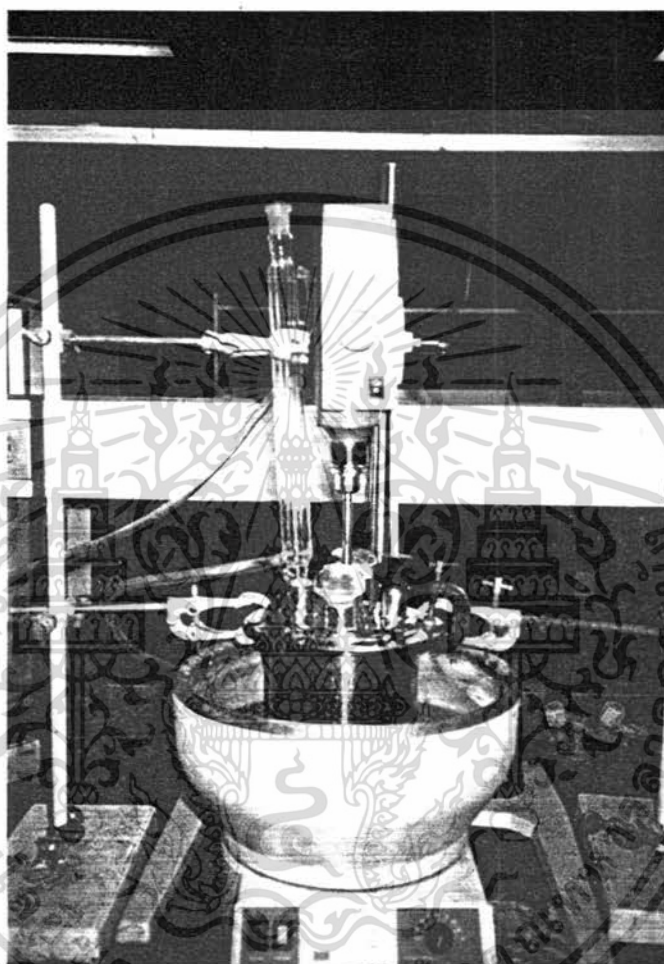
รูปที่ จ.7 แสดงภาพฟาลัง ครีป ไบพัต มอเตอร์ และขาตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



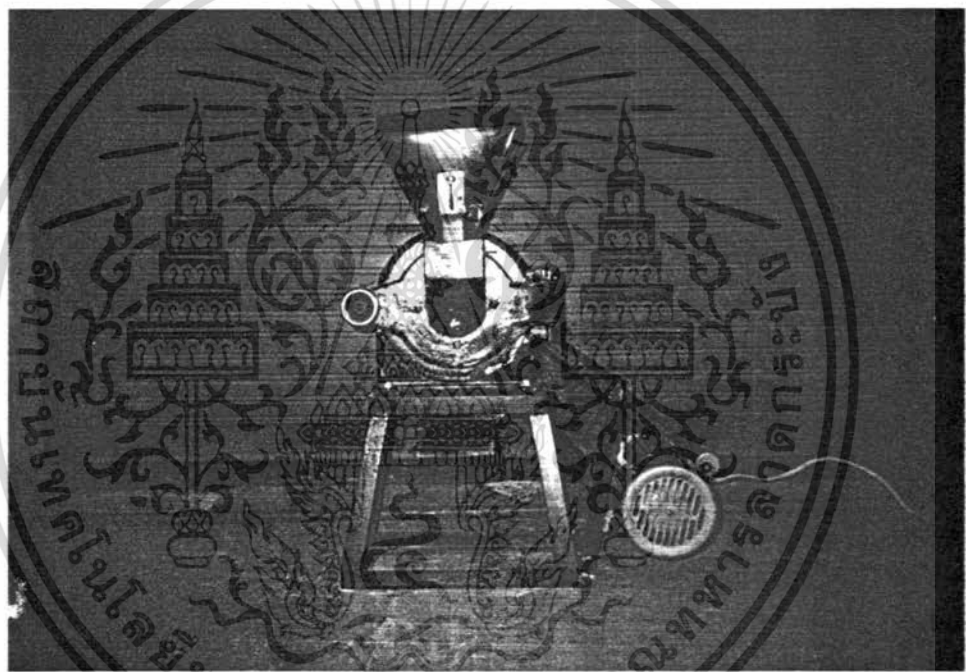
รูปที่ จ.8 แสดงภาพตัวถังปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



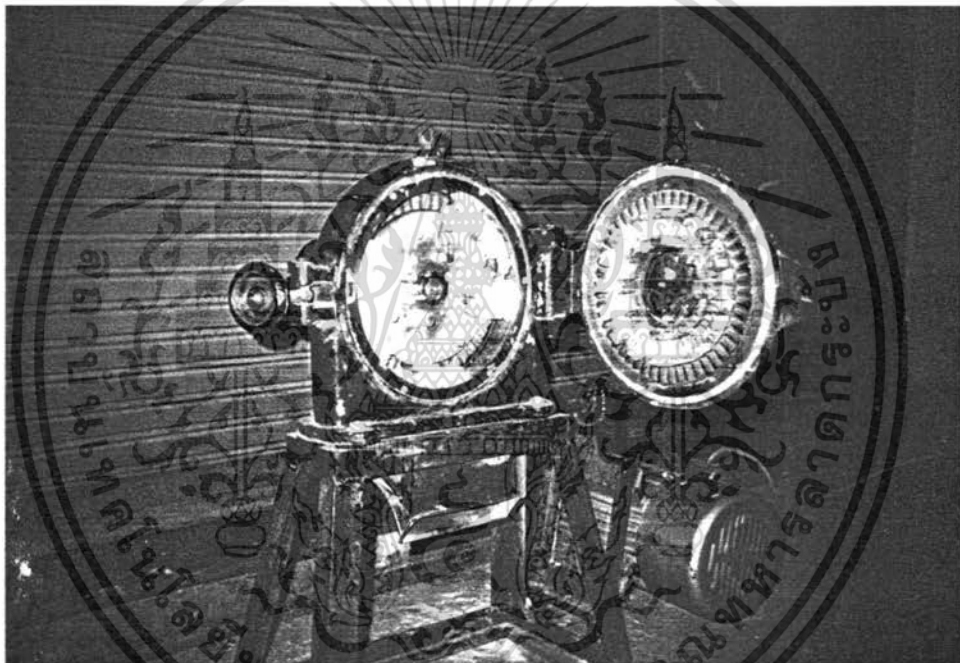
รูปที่ จ.9 แสดงภาพถึงปฏิกรณ์เคมีขนาด 2 ลิตร พร้อมอ่างควบคุมอุณหภูมิ และมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.10 แสดงภาพเครื่องโมตี สำหรับข่อยขนาดเซลล์ูโลสจากเขือกระคาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.11 แสดงภาพภายในเครื่องโมเตี สำหรับข้อยขนาดเซลลูโลสจากเยื่อกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- 1) ชุภวัฒน์ มิลเลอร์ “ข้อมูลเคมีภัณฑ์ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส” ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม 4(1) (2537) :49-50.
- 2) ชาตรี จันทร์; ไพโรจน์ สิริวัฒนโยธิน “การศึกษาการขยายขนาดของถังปฏิกริยาในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส” วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต; ภาควิชาเคมี; คณะวิทยาศาสตร์; สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2536
- 3) กัทธาวุธ มนต์วิเศษ; วันชนะ ยินสุตร “การศึกษาตัวแปรสำคัญในการขยายขนาดถังปฏิกรณ์เคมีในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส” วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต; ภาควิชาเคมี; คณะวิทยาศาสตร์; สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537
- 4) Clifford, Martin. *Electric/Electronic Motor Data Handbook*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc., 1990.
- 5) S. Himmelstein And Copany. *Useful Engineering formilae*. 1994.
- 6) กรีชา รัตนชลธาร “กรีชาของคอนโทรลเลอร์ (1)” เทคนิค 122, 2538 : 117-127. “กรีชาของคอนโทรลเลอร์ (2) ตอนจบ” เทคนิค 123
- 7) ริชาร์ด เกียง “อินเวอร์เตอร์” จุลสารเพื่อเทคโนโลยี; บริษัท เทคโนโลยีอินสตรูเมนต์ จำกัด, 2538 : 10-13
- 8) ASTM Committee on Standards “Standard Methods of Testing Sodium Carboxymethyl-cellulose” American Society for Testing and Materials, Philladepnia, 1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ธวัชชัย ศิรินันท์; ธวัชชัย อินธิพูนชนกร; นงลักษณ์ ชินขุมากร “การศึกษาเพื่อออกแบบโรงงาน-
ต้นแบบในการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส” วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต; ภาควิชาเคมี;
คณะวิทยาศาสตร์; สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2535
- ยุพิน อังศุนิตย์; สมชัย ปัทมมงคลชัย “จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการผลิตโซเดียมคาร์บอกซี-
เมทิลเซลลูโลส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเฟสทรานเฟอร์” วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต; ภาควิ-
ชาเคมี; คณะวิทยาศาสตร์; สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,
2535
- ภูวนิตย์ เจนนานนท์; มงคล ชลศลานนท์; อนันต์ ฉันทประทีป “จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการ
ผลิต โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเฟสทรานเฟอร์” วิทยานิพนธ์
ปริญญาบัณฑิต; ภาควิชาเคมี; คณะวิทยาศาสตร์; สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ-
ทหารลาดกระบัง, 2537
- Oldshue J.Y. **Fluid Mixing Technology** pp.43-71.192-215.; McGraw-Hill : New York, 1983.
- Chapman, F.S.; Holland, F.A. **Liquid Mixing and Processing in Stirred Tank** pp.1-107;
Reinhold : New York, 1967.