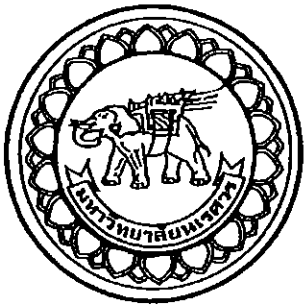


การออกแบบเครื่องมือผลิตที่ใช้สำหรับผลิตเม็ดอนุภาคที่มีการกระจายขนาดที่แคบ

EQUIPMENT DESIGN FOR PRODUCTION OF WELL-DEFINED PARTICLES WITH NARROW SIZE DISTRIBUTION

นายวรเชษฐ์ อุทธิยา รหัส 49361676

นายนพนันท์ ด่างพล้อย รหัส 49362772

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 13 ต.ค. 2553
เลขทะเบียน 150601b3
เลขเรียกหนังสือ ม.ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 3194 ก 2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การออกแบบเครื่องมือผลิตที่ใช้สำหรับผลิตเม็ดอนุภาคที่มีการกระจายขนาดที่แคบ

ผู้ดำเนินโครงงาน นายวรเชษฐ์ อุทธิยา รหัส 49361676

นายนพนันท์ ด่างพลอย รหัส 49362772

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร. อดิศักดิ์ ไสยสุข

ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน ดร. นพวรรณ โม้ทอง

อาจารย์วัฒนชัย เยาวรัตน์

อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2552

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร. อดิศักดิ์ ไสยสุข)

.....กรรมการ

(รศ.ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน)

.....กรรมการ

(อาจารย์ธนา บุญฤทธิ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น)

.....กรรมการ

(อาจารย์วัฒนชัย เยาวรัตน์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**การออกแบบเครื่องมือผลิตที่ใช้สำหรับผลิตเม็ดคอนุภาคที่มีการกระจายขนาดที่แคบ**	
ผู้ดำเนินโครงงาน	**นายวรเชษฐ์ อุทธิยา**	**รหัส 49361676**
	นายนพนันท์ ค่างพล้อย	**รหัส 49362772**
ที่ปรึกษาโครงงาน	**ดร. อดิศักดิ์ ไสยสุข**	
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน	**ดร. นพวรรณ โม้ทอง**	
	อาจารย์วัฒนชัย เยาวรัตน์	
	อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2552	

บทคัดย่อ

การใช้วัสดุอนุภาคที่มีรูปร่างแบบเม็ดคอนุภาคทรงกลมเป็นที่นิยมกันอย่างมาก เนื่องจากการควบคุมสภาวะการใช้งานเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมทำได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อนำไปบรรจุในคอลัมน์ เนื่องจากความสม่ำเสมอของช่องว่างระหว่างอนุภาคทรงกลมทำให้ของไหลที่ไหลผ่านมีความสม่ำเสมอกันทั่วทั้งคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุอนุภาคไว้ ส่งผลให้ควบคุมการถ่ายเทมวลสารได้ดีขึ้น โครงงานนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค เพื่อพัฒนาวิธีการสร้างระบบสารอิมัลชันที่สามารถควบคุมขนาดของอนุภาคให้มีขนาดใกล้เคียงกันได้ ด้วยการฉีดสารละลายของเหลวที่เป็นสารตั้งต้นในการผลิตวัสดุอนุภาคออกจากรูขนาดเล็กไปยังของเหลวอีกวัฏภาคหนึ่งที่ไม่สามารถละลายเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างระบบสารอิมัลชันที่มีหยดอนุภาคที่มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยเครื่องมือที่ได้มีการออกแบบและสร้างขึ้นมานี้ มีการปรับอัตราการไหลเชิงปริมาตรได้ 2 ค่า คือ 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที และ 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาทีโดยสามารถปรับจากแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ และ 24 โวลต์ ตามลำดับ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับการผลิตวัสดุอนุภาคโดยวิธีการปั่นกวน พบว่าวัสดุอนุภาคที่ผลิตจากเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคมีความใกล้เคียงกันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าการผลิตวัสดุอนุภาคโดยวิธีการปั่นกวน โดยที่วัสดุอนุภาคที่ผลิตจากเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคที่ฉีดด้วยอัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที และ 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.2 เท่ากัน ส่วนการผลิตวัสดุอนุภาคด้วยวิธีปั่นกวนมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.7

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้หากปราศจากการช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อดิศักดิ์ ไสยสุข ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการทำโครงงานมาโดยตลอด และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.นพวรรณ โม้ทอง อาจารย์วัฒนชัย เยาวรัตน์ อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์ ที่ให้คำปรึกษาตลอดจนถึงความช่วยเหลือในทุกด้าน ทุกท่านได้ทำให้นิสิตมีพัฒนากระบวนการทางความคิดรวมถึงเรื่องการใช้ชีวิตประจำวันด้วย ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่เป็นกำลังใจในการทำงานเสมอมาและให้คำปรึกษาในทุกๆเรื่อง

ขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะด้านเทคโนโลยีอนุภาค คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการอนุเคราะห์สนับสนุนงบประมานในการทำโครงงาน

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน คำปรึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา และขอยกความดีความชอบในโครงงานนี้เพื่อเป็นเกียรติให้ให้แก่บิดามารดา และขอขอบคุณทุกท่านที่มิได้กล่าวนาม ที่มีส่วนช่วยเหลือ สนับสนุน ให้คำปรึกษา มา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายวรเชษฐ์ อุทธิยา
นายนพนันท์ ด่างพล้อย
เมษายน 2553

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ค
กิตติกรรมประกาศ.....ง
สารบัญ.....จ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ฌ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน.....2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ.....2
1.5 ขอบเขตการทำโครงงาน.....2
1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย.....2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย.....2
1.8 แผนการดำเนินงาน.....3
1.9 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน.....3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4
2.2 แรงตึงผิว (Surface Tension).....5
2.3 กลไกการเกิดอิมัลชัน.....5
2.4 กระบวนการ โซล-เจล.....6
2.5 ขนาดตัวอย่าง.....7

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน.....8
3.1 ศึกษาข้อมูล.....8
3.2 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค....9
3.4 เตรียมสารเคมีและเครื่องมือวิเคราะห์ขนาด....10
3.5 ทดลองเปรียบเทียบตำแหน่งปลายเข็มในการฉีดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์....10
3.6 ทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการฉีดสาร....10
3.7 ทดลองผลิตวัสดุอนุภาคโดยวิธีการปั่นกวน....11
3.8 ทดลองผลิตวัสดุอนุภาคโดยวิธีการฉีดด้วยเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค....11

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์....12
4.1 ผลการออกแบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค....12
4.2 ผลการสร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค....15
4.3 การเตรียมเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค....23
4.4 เตรียมสารเคมีและเครื่องมือวิเคราะห์ขนาด....24
4.5 ผลการทดลองเปรียบเทียบตำแหน่งปลายเข็มในการฉีดสารละลาย รีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์....25
4.6 ผลการทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการฉีดสารละลาย รีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์....25
4.7 ผลการทดลองผลิตวัสดุอนุภาคโดยวิธีการปั่นกวนและวิธีการฉีดด้วยเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค....29
4.8 วิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่ขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ....32

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ....36
5.1 สรุปผลการทดลอง....36
5.2 ข้อเสนอแนะ....36

เอกสารอ้างอิง....37

ภาคผนวก ก....38

ภาคผนวก ข....53

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค.....57
ภาคผนวก ง.....62

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย....3

3.1 แผนการดำเนินงานออกแบบและสร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค....9

3.2 ปริมาณสารที่ใช้ในการทดลอง....10

4.1 ผลของการฉีดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ ช่วงละ 60 นาที....27

4.2 ผลของการฉีดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ ช่วงละ 10 นาที....27

4.3 จำนวนอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด....32

ค.1 ขนาดอนุภาค....58

ง.1 ตารางข้อมูลการคำนวณอัตราการไหล....63

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารเคมีและผลิตวัสดุอนุภาค....11

4.1 ภาพจำลองการทำงานขณะเติมสาร....12

4.2 ภาพจำลองการทำงานขณะฉีดสาร....13

4.3 การควบคุมการทำงานของเครื่องโดยกล่องควบคุมการทำงาน....14

4.4 ตัวอย่างส่วนประกอบย่อยที่ทำจากแผ่นอะคริลิกใส....15

4.5 ส่วนประกอบย่อยที่ทำจากสเตนเลสเพลา....16

4.6 ส่วนประกอบย่อยทำจากเหล็กแล้วนำไปชุบโครเมียม....16

4.7 นอตที่นำไปชุบโครเมียม....17

4.8 ตัวอย่างส่วนประกอบย่อยที่ทำจากแก้ว.... 17

4.9 โครงเครื่อง.... 18

4.10 การยึดติดโครง....18

4.11 โครงเครื่องที่ประกอบกับชุดขับเคลื่อน....19

4.12 การจับยึดชุดขับเคลื่อน....19

4.13 โครงเครื่องที่ประกอบกับชุดขับเคลื่อน....20

4.14 ส่วนหัวฉีด....21

4.15 กล่องควบคุม....21

4.16 การต่อวงจรควบคุม....22

4.17 วงจรเร็คกูเรเตอร์.... 23

4.18 ลักษณะเครื่องที่เตรียมพร้อมสำหรับการผลิตวัสดุอนุภาค....23

4.19 รีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ที่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน....26

4.20 ตัวอย่างรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ที่ตั้งทิ้งไว้....26

4.21 ตัวอย่างเม็ดอนุภาคที่ 0-180 นาที.... 28

4.22 ตัวอย่างเม็ดอนุภาคที่ 190-210 นาที.... 28

4.23 ตัวอย่าง RF-Gel ที่ฉีดออกมาหลังจาก 220 นาที....29

4.24 ตัวอย่างวัสดุอนุภาคที่ผลิตโดยวิธีปั่นกวน....30

4.25 ตัวอย่างวัสดุอนุภาคที่ผลิตโดยเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคที่อัตราการไหล
0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที....30

4.26 ตัวอย่างวัสดุอนุภาคที่ผลิตโดยเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคที่อัตราการไหล
0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที....31

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

4.27 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของการผลิตวัสดุอนุภาคในแต่ละแบบ....31
4.28 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยวิธีปั่นกวน....33
4.29 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยใช้เครื่องผลิตวัสดุอนุภาคที่อัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที....34
4.30 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยใช้เครื่องผลิตวัสดุอนุภาคที่อัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที....34
ก.1 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 1/14....39
ก.2 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 2/14....40
ก.3 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 3/14....41
ก.4 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 4/14....42
ก.5 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 5/14....43
ก.6 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 6/14....44
ก.7 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 7/14....45
ก.8 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 8/14....46
ก.9 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 9/14....47
ก.10 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 10/14....48
ก.11 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 11/14....49
ก.12 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 12/14....50
ก.13 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 13/14....51
ก.14 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 14/14....52
ข.1 ส่วนประกอบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค....54
ข.2 ลักษณะกล่องควบคุม....55

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันได้มีความพยายามในพัฒนาวิธีการสังเคราะห์และผลิตวัสดุอนุภาคแบบใหม่ โดยมุ่งเน้นให้วัสดุอนุภาคเหล่านั้นมีสมบัติพิเศษเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการใช้งานในรูปแบบใหม่ๆของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นสารดูดซับสมรรถนะสูง วัสดุรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา วัสดุสำหรับทำตัวกรองน้ำทะเล หรือการใช้เป็นส่วนประกอบของขั้วไฟฟ้าเพื่อใช้ในตัวเก็บประจุแบบสองชั้นที่มีขนาดเล็กมากเพื่อใช้ในอุปกรณ์สื่อสารสมัยใหม่ หรือใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น การใช้วัสดุอนุภาคที่มีรูปร่างแบบเม็ดอนุภาคทรงกลมเป็นที่นิยมกันอย่างมากเนื่องจากการควบคุมสภาวะการใช้งานเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมทำได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่อนำไปบรรจุในคอลัมน์ เนื่องจากความสม่ำเสมอของช่องว่างระหว่างอนุภาคทรงกลมทำให้ของไหลที่ไหลผ่านมีความสม่ำเสมอกันทั่วทั้งคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุอนุภาคไว้ส่งผลให้ควบคุมการถ่ายเทมวลสารได้ดีขึ้น

ในปัจจุบันการผลิตวัสดุอนุภาคที่มีรูปร่างทรงกลมด้วยวิธีอิมัลชันเป็นวิธีที่ใช้กันมาก โดยทั่วไปแล้วจะใช้วิธีการกวนผสมเพื่อสร้างระบบสารอิมัลชัน ซึ่งการกวนผสมจะทำให้วัฏภาคของสารที่ต้องการผลิตเป็นเม็ดอนุภาคแตกเป็นหยดของเหลวขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในอีกวัฏภาคหนึ่ง โดยวัฏภาคที่เป็นหยดเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน ให้ได้อนุภาคของแข็งเป็นวัสดุอนุภาคที่ต้องการ อย่างไรก็ดีการผลิตวัสดุอนุภาคทรงกลมด้วยวิธีการสร้างระบบสารอิมัลชันโดยการกวนผสมมีข้อจำกัดในด้านการควบคุมขนาดของหยดอนุภาคให้มีขนาดใกล้เคียงกัน

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของโครงงานนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคเพื่อพัฒนาวิธีการสร้างระบบสารอิมัลชันที่สามารถควบคุมขนาดของอนุภาคให้มีขนาดใกล้เคียงกันได้ ด้วยการฉีดสารละลายของเหลวที่เป็นสารตั้งต้นในการผลิตวัสดุอนุภาคออกจากรูขนาดเล็กไปยังของเหลวอีกวัฏภาคหนึ่งที่ไม่สามารถละลายเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างระบบสารอิมัลชันที่มีหยดอนุภาคที่มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยมุ่งศึกษาถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมในการควบคุมขนาดของเม็ดอนุภาคที่ผลิตได้ เช่นอัตราการไหลออกจากรูขนาดเล็กของวัฏภาคที่เป็นสารตั้งต้น เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคด้วยวิธีการสร้างระบบสารอิมัลชัน ที่สามารถควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุอนุภาคให้มีขนาดใกล้เคียงกันได้

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน

1.3.1 เครื่องผลิตวัสดุอนุภาคต้นแบบด้วยวิธีการสร้างระบบสารอิมัลชันโดยใช้การฉีดสารผ่านรูขนาดเล็ก

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ

1.4.1 ขนาดการกระจายตัวของวัสดุอนุภาคที่ผลิตด้วยเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค ที่การกระจายตัวแคบกว่าการผลิตวัสดุอนุภาคด้วยวิธีปั่นกวน

1.5 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.5.1 ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคด้วยวิธีการสร้างระบบสารอิมัลชันโดยใช้หลักการฉีดสารละลายที่สามารถเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน ไปยังวัฏภาคที่สารละลายดังกล่าวไม่ละลาย

1.5.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมขนาดของวัสดุอนุภาคด้วยวิธีการสร้างระบบสารอิมัลชันจากเครื่องมือต้นแบบที่ออกแบบขึ้น โดยศึกษาการผลิตวัสดุอนุภาค รีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์เจล ในระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water-in-oil Emulsion)

1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

1 กรกฎาคม พ.ศ.2552 ถึง 31 มีนาคม พ.ศ.2553

1.8 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ลำดับ	การดำเนินงาน	ก.ค.		ส.ค.		ก.ย.		ต.ค.		พ.ย.		ธ.ค.		ม.ค.		ก.พ.		มี.ค.	
1	ศึกษาข้อมูล	■	■	■	■														
2	ออกแบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค					■	■	■	■	■	■								
3	สร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค											■	■	■	■	■			
4	ทำการทดลองผลิตวัสดุอนุภาค														■	■			
5	ประเมิน / วิเคราะห์																■		
6	สรุปผลการดำเนินงาน																	■	■

1.9 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

รวมเป็นเงิน 4400 บาท

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kawakatsu T. et al. (2001) การศึกษาผลจากกลุ่มของสารไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ในสารลดแรงตึงผิวต่อการรวมตัวเป็นหยดของสารอิมัลชันระบบน้ำในน้ำมัน โดยเฮกเซนและกรดโอเลอิกถูกเลือกเป็นตัวแทนของสารในวัฏภาคน้ำมันและน้ำและสารละลายซูโครสเป็นตัวแทนของสารวัฏภาคน้ำ ขนาดเฉลี่ยของหยดที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 17-23 ไมโครเมตร ขึ้นอยู่กับชนิดของสารลดแรงตึงผิวและความหนืดของสารในวัตภาคน้ำและน้ำมัน ขนาดของอนุภาคที่ได้มีขนาดลดลงเมื่อสารลดแรงตึงผิวมีกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นหรือมีขนาดของกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำใหญ่ขึ้น

Yamamoto T. et al. (2002) ในการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคคาร์บอนที่มีทรงกลม โดยวิธี Emulsion Polymerization of (RF) Aqueous Solution แต่ลักษณะหยดแต่ละหยดของสารละลายที่ได้มีขนาดที่แตกต่างกันส่งผลให้ไม่สามารถเตรียมอนุภาคคาร์บอนที่มีขนาดใกล้เคียงกันได้

Yung-Chieh T. et al. (2005) การออกแบบและทดสอบเครื่องควบคุมขนาดอนุภาคที่เรียกว่า Nanojet เพื่อทดสอบความสามารถในการควบคุมขนาดของหยดอนุภาคและอัตราเร็วของการผลิตโดยเครื่องมือสร้างจากวัสดุ PDMS และแก้ว และตัวหัวฉีดทำจากกระบอกฉีดยา Yung-Chieh T. et al. (2005) โดยสารที่ใช้ในการทดสอบคือ กรดโอเลอิก (Oleic acid)และน้ำ โดยของไหลซึ่งไม่ผสมกันสองชนิดนี้จะถูกฉีดผ่านช่องที่ทำจากวัสดุ PDMS และควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ ด้วยปั๊มที่ต่อกับกระบอกฉีดยา หยดของอนุภาคที่ได้ถูกถ่านด้วยกล้องความเร็วสูง พบว่าลักษณะของช่องทางออกที่ต่างกันและขนาดของช่องทางออกที่ต่างกัน ทำให้ได้ขนาดของหยดอนุภาคแตกต่างกัน โดยเครื่องมือนี้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดของอนุภาคได้จากการควบคุมอัตราการไหล และสามารถควบคุมขนาดของหยดให้มีขนาดใกล้เคียงกันได้โดยเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดอนุภาคที่ได้มีขนาดแตกต่างกันต่ำกว่า 2%

Yamamoto T. et al. (2007) การศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคคาร์บอน โดยใช้วิธีเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมาแต่ได้คิดค้นกรรมวิธีใหม่เพื่อพยายามให้ได้หยดของสารละลาย RF ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน การทำงานของอุปกรณ์นี้คือ การปล่อยหยดของสารละลายออกจากอุปกรณ์ฉีดเป็นช่วงๆอย่างต่อเนื่อง เข้าสู่ Silicone Oil ที่อัตรา 0.025 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ในขณะที่ Silicone Oil ถูกทำให้หมุนเวียนที่อัตราการไหลคงที่ช่วง 1.3-20 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มที่ใช้คือ 0.41 มิลลิเมตร จากผลการทดลองพบว่าผู้วิจัยได้หยดของสารละลายที่ใกล้เคียงกันส่งผลให้ค่า สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของอนุภาคที่ได้มีค่าต่ำกว่า 20%

Shuin L. et al. (2007) ได้ทำการศึกษาการไหลแบบหลายวัฏภาคของของไหลระดับไมโคร โดยการพยายามควบคุมขนาดของหยดอนุภาคและศึกษาลักษณะของผิวรอยต่อระหว่างหยดอนุภาค พบว่าขนาดของหยดอนุภาคในระบบของไหลหลายวัฏภาค ขึ้นอยู่กับความเร็วในการไหล และอัตราส่วนของความเร็วในการไหลของวัฏภาคทั้งสอง โดยอุปกรณ์ที่ใช้คือ แท่งแก้วขนาดเล็กสวมอยู่ภายในแท่งแก้วทรงสี่เหลี่ยม เพื่อใช้ควบคุมการเกิดอิมัลชันแบบสองชั้น อัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ได้จำนวนปริมาตร และความหนา ของอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยขนาดของอนุภาคแบบสองชั้นที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 0.15 – 10 ไมโครเมตร ขึ้นอยู่กับตัวแปลที่ถูกปรับในการทดลอง เช่น ความหนืดและความเร็วในการไหล

2.2 แรงตึงผิว (Surface Tension)

สมศักดิ์ (พ.ศ.2547) ปรากฏการณ์ของของไหลอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นกับของไหลหรือของแข็งก็คือการเกิดแรงตึงผิวขึ้นบนของเหลว ตัวอย่างปรากฏการดังกล่าว ได้แก่ การเอาเข็มเหล็กค่อยๆ วางบนผิวของของเหลว และเข็มสามารถลอยอยู่บนผิวของเหลวได้ อันเนื่องมาจากแรงตึงผิวของของเหลวนั้นก่อให้เกิดเป็นเสมือนแผ่นเยื่อบางรองเข็มอยู่ หรือการที่หยดน้ำเกาะตัวเป็นหยดอยู่บนผิวโลหะที่เป็นมันวาว ก็เกิดขึ้นมาจากเกิดแรงตึงผิวขึ้นบนผิวของหยดน้ำ หรือของเหลวภายในหลอดเล็กที่จุ่มอยู่ในอ่างของเหลวนั้นมีระดับสูงกว่าผิวของของเหลวที่อยู่ด้านนอกหลอด ก็เนื่องจากการเกิดแรงตึงผิวของของเหลวที่อยู่ด้านในของหลอดกับผนังด้านใน

2.3 กลไกการเกิดอิมัลชัน

พิมพร (พ.ศ.2532) รายงานว่าปกติของเหลวสองชนิดซึ่งไม่เข้ากันเมื่อถูกนำมารวมจะแยกกันอยู่เป็น 2 ชั้น เนื่องจากเกิดแรงตรึงระหว่างผิวขึ้น แต่เมื่อมีการเขย่าซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสอง จะทำให้ของเหลวนั้นกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ในกันและกันได้ และมีลักษณะของอิมัลชันเกิดขึ้น แต่เป็นเพียงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นชั่วคราว ซึ่งหลักการทางเบอร์โมไดนามิกส์ อธิบายได้ว่า การเขย่าเป็นการเพิ่มพลังอิสระที่พื้นผิว (Surface Free Energy) ของเหลวจึงเข้ากันได้ชั่วคราว สภาวะนี้ถือว่าไม่คงสภาพ เพราะเมื่อหยุดเขย่าหรือหยุดกวน ของเหลวเหล่านั้นก็จะพยายามกลับมารวมตัวกันและแยกชั้นดังเดิม เนื่องจากมีการปรับสภาวะให้เข้าจุดคงสภาพโดยลดพื้นที่ผิวการสัมผัสระหว่างกันน้อยที่สุด

เหตุการณ์ดังกล่าวนี้สามารถทำให้เกิดขึ้นอย่างถาวร กล่าวคือ เกิดการกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ในกันและกันของของเหลวทั้งสองชนิดโดยที่ยังคงสภาพอยู่ ซึ่งไม่กลับมาแยกชั้นดังเดิมได้โดยการเติมตัวทำอิมัลชันลงไปก่อนการเขย่า

2.3.1 ขั้นตอนการเกิดอิมัลชัน

2.3.1.1 การทำให้ของเหลวที่เป็นอนุภาคภายในแตกกระจายเป็นหยดเล็กๆ โดยอาศัยการให้พลังงานซึ่งอาจใช้ในรูปของความร้อน (Heat) การคนหรือเขย่า (Mechanical Agitation) การสั่นสะเทือนโดยคลื่นเสียง (Ultrasonic Vibration) หรือไฟฟ้า (Electricity) เป็นต้น

2.3.1.2 การทำให้หยดเล็กๆที่กระจายตัวอยู่นั้นคงสภาพอยู่ได้ซึ่งอาศัยตัวทำอิมัลชัน

2.4 กระบวนการ โซล-เจล

2.4.1 ความหมายของกระบวนการโซล-เจล

สุจิตรา (พ.ศ.2552) รายงานว่ากระบวนการโซล-เจล มีชื่อเรียกอีกหลายอย่างอาทิเช่น กระบวนการสารละลายโซล-เจล กระบวนการเอสเอสจี โดยทั่วไปกระบวนการโซล-เจล หมายถึง การสังเคราะห์โครงสร้างร่างแหอนินทรีย์โดยกระบวนการทางปฏิกิริยาทางเคมี

Roy และ Meckenzie ได้ให้คำอธิบายเกี่ยวกับกระบวนการ เอสเอสจี ว่าเป็นกระบวนการเกิดแก้วด้วยวิธีที่ไม่ธรรมดา โดยเกิดจากการย่อยสลายโลหะแอลคอกไซร์ด้วยความชื้น หรือน้ำ และเทคนิคการก่อตัวด้วยไอของสารเคมี สารประกอบแอลคอกไซร์ หรืออนุพันธ์ของโลหะที่ใช้กันมากจะอยู่ในรูปของคาร์บอซีเลท ไนเตรท อะซีเตด ซึ่งสามารถใช้สารเหล่านี้ตัวเดียวโดดๆหรือใช้ร่วมกับแอลคอกไซด์ของโลหะตัวอื่นๆเพื่อเตรียมเซรามิกที่มีหลายองค์ประกอบกระบวนการโซลเจล หมายถึงการสังเคราะห์โครงสร้างร่างแหอนินทรีย์โดยกระบวนการทางปฏิกิริยาทางเคมีในสารละลาย ณ อุณหภูมิต่ำ ซึ่งคำว่ากระบวนการโซล-เจลมาจากการที่สารละลายเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว (สารละลายหรือสารคอลลอยด์) เป็นของแข็งสารผสมที่มีมากกว่าสองวัฏภาคขึ้นไป (Di or Multiphase) โดยไม่จำเป็นต้องเกิดในระบบที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ สารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการโซล-เจล ต้องเป็นสารอนินทรีย์ประเภทโมโนเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ที่สามารเกิดปฏิกิริยาได้ในกรณีของอนุภาคซิลิกา จะต้องมีการทำเปปติไซด์ (Peptisized) แล้วจึงนำไปใช้เตรียมโซล เพื่อปรับประจุบนผิวของอนุภาคให้เหมาะสมก่อนจะได้ไม่มีการจับตัวเป็นตะกอนขึ้น

2.4.2 ขั้นตอนของปฏิกิริยาในกระบวนการโซล-เจล

สุจิตรา (พ.ศ.2552) รายงานว่าการเกิดปฏิกิริยาจากโมโนเมอร์เป็นลักษณะที่มีโครงสร้างร่างแหที่ค่อนข้างซับซ้อน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่สารเป็นเนื้อเดียวกันหรือเป็นสารโมเลกุลเล็ก (Homogenous or molecular regime) ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยการหาโครงสร้างและขนาดโมเลกุล ขั้นตอนที่สองคือ ขั้นตอนที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogenous Mutiphasic Polymeric Regime) ซึ่งตรวจสอบได้จากการใช้หลักการของการกระเจิง เช่น เครื่องเอกซ์เรย์นิวตรอน หรือ สมบัติเชิงกล

2.5 ขนาดตัวอย่าง (Sample size)

สมศักดิ์ (พ.ศ.2538) กล่าวว่าขนาดตัวอย่างต้องมากพอที่จะเป็นตัวแทนได้ วิธีการประมาณขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตรของ Taro Yamane ดังนี้

$$n = \left(\frac{N}{1 + Nd^2} \right) \qquad (2.1)$$

เมื่อ n = ขนาดของหน่วยตัวอย่างกลุ่มเป้าหมาย

N = ประชากรทั้งหมด

d = ระดับความมีนัยสำคัญ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษาข้อมูล

3.1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงงานเพื่อศึกษาถึง แนวทางตลอดจนวิธีการในการออกแบบและสร้างเครื่องสำหรับผลิตวัสดุอนุภาค ซึ่งทำให้รู้ถึงความเป็นไปได้ของความสำเร็จในการทำโครงงาน จากผลของงานวิจัยที่ผ่านมา อีกทั้งยังใช้รูปแบบของเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคในงานวิจัยเหล่านั้นมาเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคด้วยวิธีการสร้างระบบสารอิมัลชัน ที่สามารถควบคุมขนาดของวัสดุอนุภาคให้มีขนาดใกล้เคียงกันได้

3.1.2 ข้อมูลทางทฤษฎี

มีการศึกษาถึงข้อมูลทางทฤษฎีต่างเพื่อให้เข้าใจในทฤษฎีเหล่านั้นแล้วนำมาปรับใช้ในโครงงาน เช่น ทฤษฎีการเกิดวัสดุอนุภาคด้วยวิธีการสร้างระบบสารอิมัลชัน การใช้ประโยชน์จากวัสดุอนุภาค การควบคุมอัตราการไหลของสาร การวิเคราะห์ผลในทางสถิติ เป็นต้น

3.1.3 ข้อมูลในการออกแบบ

ในการสร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการออกแบบที่ดีและมีความเหมาะสมก่อน ซึ่งการศึกษาข้อมูลในการออกแบบนั้นทำให้ช่วยในตัดสินใจในการเลือกใช้วัสดุที่นำมาสร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคนี้ได้ และยังช่วยในการออกแบบกลไกในการทำงานของเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค และการใช้งานที่สะดวก

การควบคุมการทำงานของเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคก็เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญมากเช่นกัน หากมีการควบคุมที่ไม่ดีแล้วผลที่ได้อาจไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และอาจเกิดอันตรายและความเสียหายได้ จึงต้องมีการศึกษาข้อมูลและเลือกอุปกรณ์ในการควบคุมให้ถูกต้องและมีความเหมาะสมให้มากที่สุด

3.2 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 อะคริลิกใส

3.2.2 สเตนเลสเพลา

3.2.3 เหล็กเพลาและเหล็กแผ่น

3.2.4 แก้ว

3.2.5 เทปล่อน

3.2.6 อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ทำการทดลอง เช่น หลอดแก้ว บิกเกอร์ เป็นต้น

3.2.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างส่วนประกอบของเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค เช่น เครื่องกลึง เครื่องตัดเหล็ก เครื่องเจาะ เครื่องเชื่อมไฟฟ้า เครื่องเจียร เลื่อย เครื่องตัดแผ่นอะคริลิก เป็นต้น

3.2.8 เครื่องปั่นกวนสาร

3.2.9 ตู้ดูดควัน

3.2.10 กล้อง Microscope Warranty Model ZM-F 603

3.3 ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานออกแบบและสร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค

ลำดับการดำเนินงาน	ขั้นตอนการดำเนินงานงาน	กาดำเนินงานงาน
1	ออกแบบเครื่องมือผลิตวัสดุอนุภาค	ออกแบบโดยใช้หลักการฉีดสารผ่านรูขนาดเล็กคล้ายกับกระบอกฉีดยา โดยใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนในการฉีดสาร และได้มีการสร้างเครื่องทดสอบการทำงานในระหว่างขั้นตอนการออกแบบ เพื่อที่จะได้พบปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในการสร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคและสามารถแก้ไขได้ตั้งแต่ในขั้นตอนการออกแบบ
2	สร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค	ทำการขึ้นรูปชิ้นส่วนแต่ละแต่ละชิ้นโดยใช้วิธีการต่างๆ เพื่อนำมาประกอบเป็นเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคโดยมีการใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูป เช่น นอต ช่วยในการประกอบ
3	เตรียมเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค	การเตรียมเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคเพื่อพร้อมสำหรับการทดลองฉีดสารทำได้โดยการ นำเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคต่อเข้ากับเครื่องแก้ว รวมถึงการเตรียมแหล่งจ่ายไฟสำหรับใช้ในเครื่องดังกล่าว

3.4 เตรียมสารเคมีและเครื่องมือวิเคราะห์ขนาด

ได้ทำการเตรียมสารเคมีที่จะใช้ในการทดลอง เพื่อทำการผสมสารเคมีเหล่านั้นในการทดลองผลิตวัสดุอนุภาค และได้มีการเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและการวิเคราะห์ขนาด

ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	รีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์				สารลดแรงตึงผิว	น้ำมันพาราฟิน
	รีโซซินอล	ฟอร์มัลดีไฮด์	โซเดียมคาร์บอเนต	น้ำกลั่น		
ปริมาณสารเคมี	9 กรัม	12.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร	0.022 กรัม	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร	5 % โดยน้ำหนักของ รีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์	5 เท่าโดยน้ำหนักของรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์

3.5 ทดลองเปรียบเทียบตำแหน่งปลายเข็มในการฉีดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์

ได้ทำการฉีดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ ใส่ในน้ำมันพาราฟิน เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการเกิดเป็นเม็ดอนุภาคของรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ โดยได้ลองฉีดสารอยู่ 2 ลักษณะคือ ฉีดแบบปลายเข็มจม และการฉีดแบบปลายเข็มลอย ซึ่งมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

3.5.1 ขั้นตอนการทดลอง

3.5.1.1 เตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.5.1.2 ทำการฉีดแบบปลายเข็มจมและการฉีดแบบปลายเข็มลอย

3.5.1.3 สังเกตลักษณะวัสดุอนุภาคแล้วนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาตำแหน่งปลายเข็มที่เหมาะสมในการฉีด

3.6 ทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการฉีดสาร

คือการหาสภาวะที่เหมาะสมของรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ สำหรับการฉีด โดยการหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการผสมรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ทิ้งไว้แล้วนำมาฉีด

3.5.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.5.2.1 เตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.5.2.2 นำตัวอย่างสารละลายรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์มาฉีดเพื่อสังเกตลักษณะการเกิดเป็นเม็ดอนุภาคทรงกลมทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.5.2.3 สังเกตการณ์เกิดเป็นเม็ดอนุภาคทรงกลมในช่วงเวลาที่เหมาะสม

3.5.2.4 ทำการเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลองใหม่เพื่อทดลองหาช่วงเวลาที่แคบกว่าเดิม

3.5.2.5 นำตัวอย่างสารละลายรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์มาฉีดเพื่อสังเกตลักษณะการเกิดเป็นเม็ดอนุภาคทรงกลมทุก 10 นาที ในชั่วโมงที่ 3-4

3.5.2.6 สังเกตการณ์เกิดเป็นเม็ดอนุภาคทรงกลมในช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อนำเวลานั้นมาเป็นเวลาที่ใช้ในการฉีดสารในการทดลอง

3.7 ทดลองผลิตวัสดุอนุภาคโดยวิธีการปั่นกวน

การผลิตวัสดุอนุภาคด้วยวิธีการปั่นกวนทำโดยการใช้เครื่องปั่นกวนปั่นรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ รวมกับน้ำมันพาราฟิน จนเม็ดอนุภาคทำปฏิกิริยาแข็งตัว ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3.1

3.8 ทดลองผลิตวัสดุอนุภาคโดยวิธีการฉีดด้วยเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค

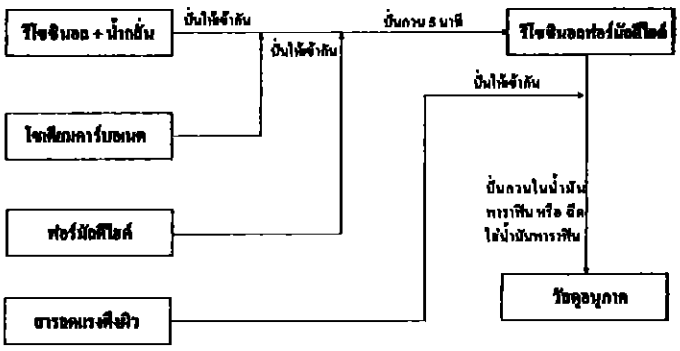
การฉีดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค ได้มีการปรับอัตราการไหลจากการปรับความต่างศักดิ์ไฟฟ้าได้เพียง 2 ค่าเท่านั้น ซึ่งเป็นข้อจำกัดของเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค เนื่องจากเครื่องสามารถเลือกย่านแรงดันได้ 0-12 โวลต์ และ ย่านแรงดันเกิน 12 แต่ไม่เกิน 24 โวลต์

โดยแต่ละย่านแรงดันนั้นสามารถปรับแรงดันในช่วงของแต่และย่านได้ แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าปรับไปที่เท่าไหร่ แต่ตำแหน่งที่บอกได้คือตำแหน่งบิดสูงสุดของตัวปรับความเร็วรอบ

ที่ย่านแรงดันได้ 0-12 โวลต์ หากบิดตัวปรับความเร็วรอบสูงสุดจะปรับปรับได้ 12 โวลต์ และที่ย่านแรงดันเกิน 12 แต่ไม่เกิน 24 โวลต์ หากบิดตัวปรับความเร็วรอบสูงสุดจะปรับปรับได้ 24 โวลต์

ดังนั้นจึงมีการทดลองฉีดสารที่อัตราการไหลเพียง 2 ค่าเท่านั้น ซึ่งการคำนวณอัตราการไหลแสดงไว้ในภาคผนวก ข หากปรับไปที่ 12 โวลต์ และ 24 โวลต์ จะได้อัตราการไหลที่ทางออกเป็น 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที และ0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

3.8.1 ขั้นตอนการทดลอง

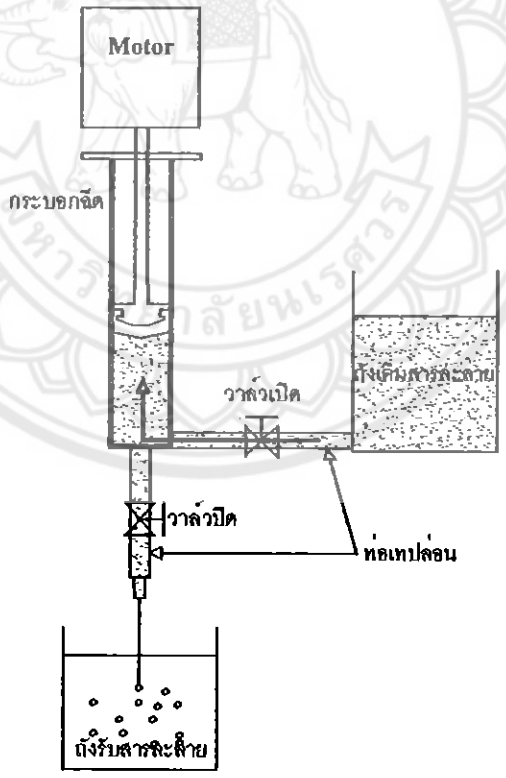


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารเคมีและผลิตวัสดุอนุภาค

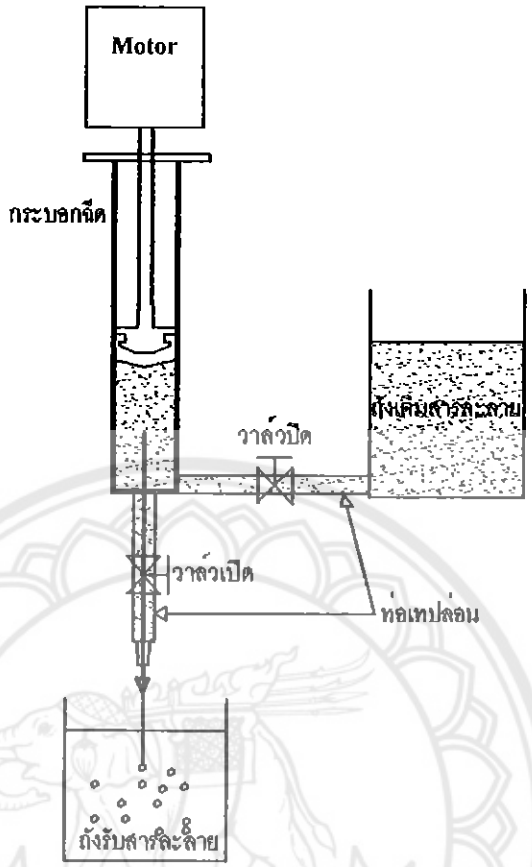
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 ผลการออกแบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค

วัตถุประสงค์ของโครงงานนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคเพื่อพัฒนาวิธีการสร้างระบบสารอิมัลชันที่สามารถควบคุมขนาดของอนุภาคให้มีขนาดใกล้เคียงกันได้ ด้วยการฉีดสารละลายของเหลวที่เป็นสารตั้งต้นในการผลิตวัสดุอนุภาคออกจากรูขนาดเล็กไปยังของเหลวอีกวัฏภาคหนึ่งที่ไม่สามารถละลายเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างระบบสารอิมัลชันที่มีหยดอนุภาคที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ซึ่งในการด้วยการฉีดสารละลายของเหลวที่เป็นสารตั้งต้นออกจากรูขนาดเล็กนี้ได้ออกแบบหลักการทำงานไว้ โดยนำหลักการทำงานของเข็มฉีดยาที่สามารถดูดสารและฉีดสารออกจากรูขนาดเล็กได้ โดยใช้มอเตอร์เป็นตัวต้นกำลังในการขับเคลื่อน โดยมีเครื่องจำลองการทำงานดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ภาพจำลองการทำงานขณะเติมสาร

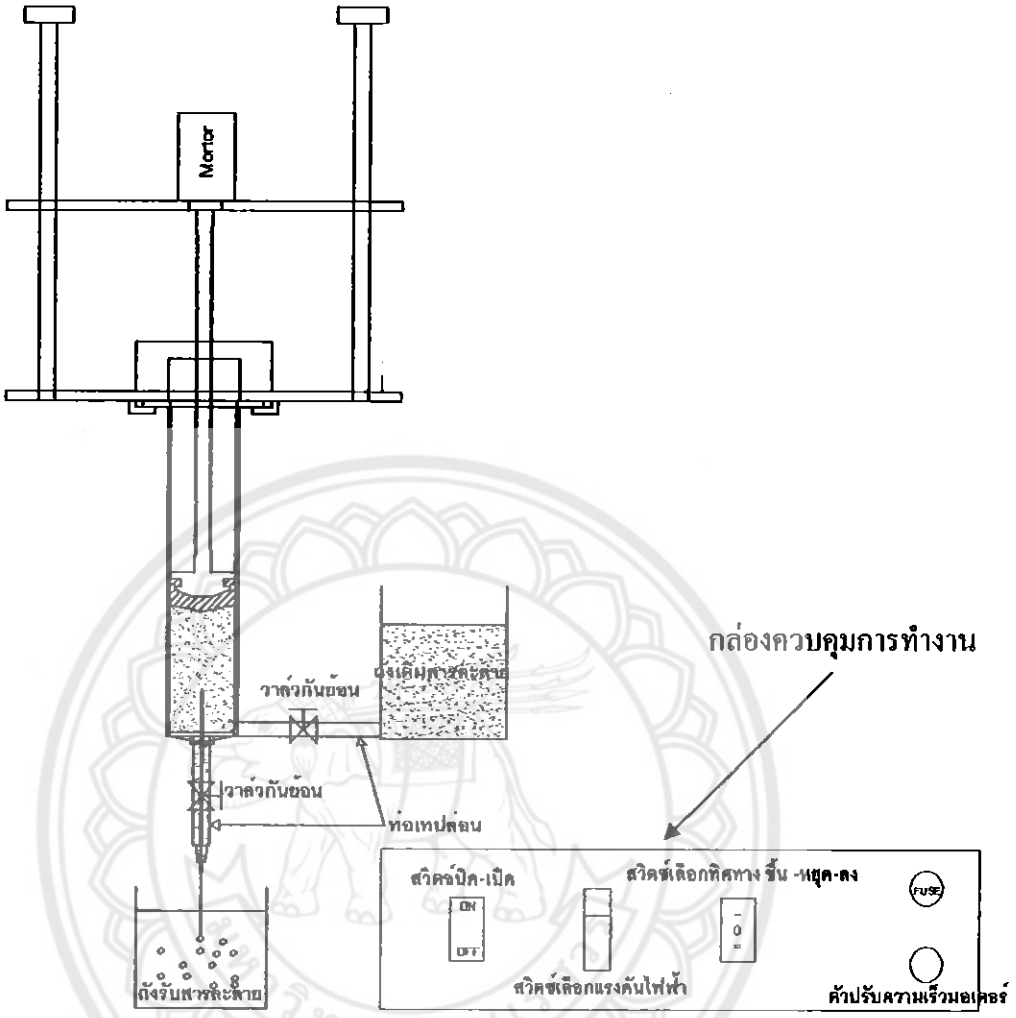


รูปที่ 4.2 ภาพจำลองการทำงานขณะฉีดสาร

จากรูป 4.1 และ 4.2 จะเห็นว่ามีถังเติมสารละลายและถังรับสารละลายอยู่ ซึ่งทั้งสองถังนี้ได้ต่อกับกระบอกฉีดยาโดยท่อ และควบคุมทิศทางการไหลโดยวาล์วกันกลับ ซึ่งรายละเอียดในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ และวัสดุที่เลือกใช้ในแต่ละชิ้นงานได้มีรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ก

หลักการทำงานของเครื่องในการฉีดสารและดูดสารละลาย หลักการหมุนกลับทางของมอเตอร์ ซึ่งจะเป็นตัวบังคับทิศทางของลูกสูบว่าจะขึ้นหรือลง ในจังหวะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงจะทำให้สารละลายในกระบอกฉีดถูกดันออกมาด้วยแรงดันที่กดลงไปในกระบอกจึงทำให้สารละลายถูกฉีดออกมา และในจังหวะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นนั้นกระบอกจะดูดสารละลายเข้ามาแทนพื้นที่ว่างในกระบอก ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้นี้สามารถปรับความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ได้ด้วยแผงวงจรปรับความเร็วมอเตอร์ ซึ่งจะส่งผลกับอัตราการไหลของสารที่ไหลออกมาจากรูเข็ม

โดยการควบคุมการทำงานของเครื่องนั้นจะควบคุมโดยกล่องควบคุมการทำงานที่ทำขึ้นมาเพื่อเชื่อมต่อกับตัวเครื่อง ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การควบคุมการทำงานของเครื่องโดยกล่องควบคุมการทำงาน

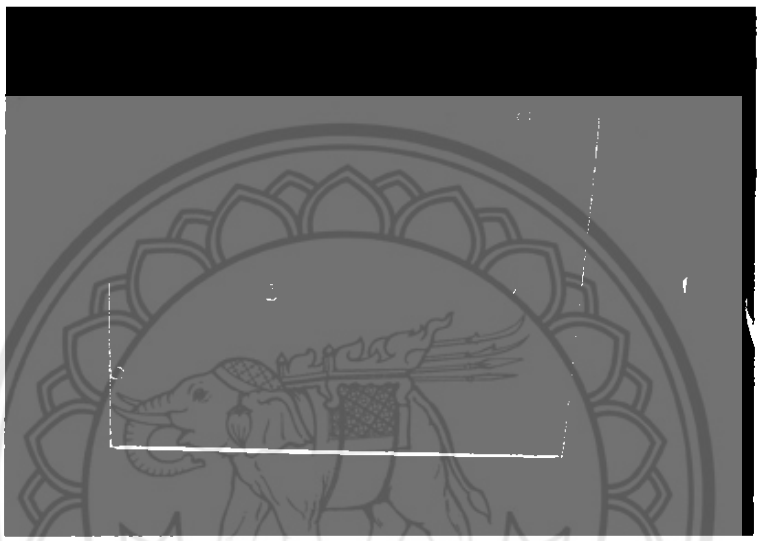
จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่ามีกล่องที่สามารถควบคุมการทำงานของตัวเครื่องได้ โดยที่มีสวิตช์ปิด-เปิด ที่ใช้ในการปิดและเปิดเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค และยังมีตัวปรับความเร็วของมอเตอร์ในการหมุนได้ อีกทั้งยังมีสวิตช์ปรับย่านแรงดันไฟฟ้าสำหรับตัวปรับความเร็วมอเตอร์

4.2 ผลการสร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค

4.2.1 ขึ้นรูปส่วนประกอบย่อยของเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค

4.2.1.1 ส่วนประกอบย่อยที่ทำจากแผ่นอะคริลิกใส

มีการออกแบบรายละเอียดไว้ ดังภาคผนวก ก โดยชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีการขึ้นรูปที่เหมือนหรือแตกต่างกันไป เช่น ตัด เจาะ เจียร ตะไบ และกลึง ซึ่งตัวอย่างส่วนประกอบย่อยที่ทำจากแผ่นอะคริลิกใสได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างส่วนประกอบย่อยที่ทำจากแผ่นอะคริลิกใส

ดังรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าชิ้นงานมีการตัดขึ้นรูปและมีการเจาะรูเพื่อเป็นช่องใส่นอตยึดกับส่วนประกอบย่อยส่วนอื่นๆ นอกจากนี้แล้วยังมีการเจียรหรือตะไบเพื่อความเรียบของผิวรอยตัดด้วย

4.2.1.2 ส่วนประกอบย่อยที่ทำจากเพลาสเตนเลส

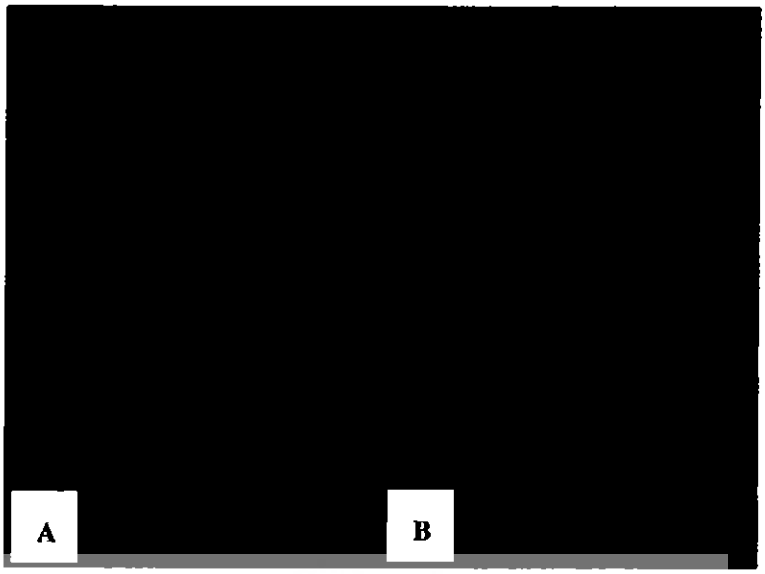
ในการสร้างเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคนี้ มีการตัด และกลึงชิ้นงานให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ โดยมีการกลึงเกลียวเพื่อสวมประกอบกับนอตที่เป็นขนาดมาตรฐานโดยส่วนใหญ่ชิ้นส่วนมีจุดประสงค์เพื่อช่วยในการจับยึด ซึ่งชิ้นงานที่ขึ้นรูปแสดงดังรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.5 ส่วนประกอบย่อยที่ทำจากสเตนเลสเพลา

4.2.1.3 ส่วนประกอบย่อยที่ทำจากเหล็ก

เมื่อชิ้นงานที่ทำจากเหล็กขึ้นรูปได้ตามต้องการแล้วหรือบางชิ้นส่วนขึ้นรูปแล้ว ต้องนำมาเชื่อมต่อกันด้วยการเชื่อมไฟฟ้า จะพบปัญหาที่ตามมาคือ ชิ้นงานนั้นมีการขึ้นสนิม จึงมีการนำชิ้นงานไปชุบโครเมียมดังรูปที่ 4.6 อีกทั้งยังมีส่วนประกอบอื่นๆที่ต้องนำไปชุบโครเมียมด้วย เช่น นอต ดังรูปที่ 4.7

รูปที่ 4.6 ส่วนประกอบย่อยทำจากเหล็กแล้วนำไปชุบโครเมียม

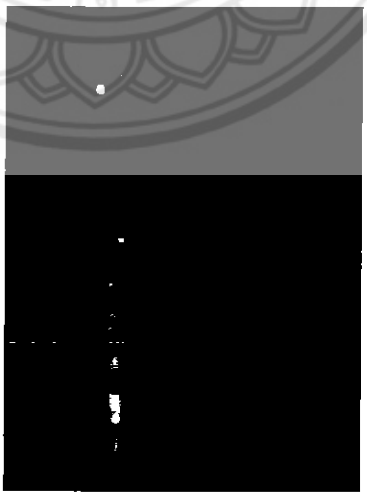


รูปที่ 4.7 นอตที่นำไปชุบโครเมียม

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่ารูป A ได้ผ่านการชุบโครเมียมแล้วทำให้ผิวมีมันวาว ไม่เกิดสนิม ส่วนรูป B จะมีสนิมขึ้น

4.2.1.4 ส่วนประกอบย่อยที่ทำจากแก้ว

เนื่องจากเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคนี้ต้องใช้แก้วมาเป็นส่วนประกอบ โดยนำมาเป็นในส่วนของภาชนะบรรจุเป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากไม่สามารถที่จะขึ้นรูปแก้วเองได้จึงมีการว่าจ้างหน่วยงานหรือบริษัทจากภายนอกทำให้โดยตัวอย่างส่วนประกอบย่อยที่ทำจากแก้วแสดงดังรูปที่ 4.8 ซึ่งมีการต่อท่อเทปลอนไว้ที่ปลายทางออกของชิ้นงานแก้ว



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างส่วนประกอบย่อยที่ทำจากแก้ว

4.2.2 ประกอบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค

4.2.2.1 ประกอบโครงเครื่องซึ่งเป็นส่วนที่เป็นฐานของเครื่องและเป็นจุดจับยึดส่วนประกอบย่อยอื่น หรือเป็นจุดที่ประกอบกับชิ้นส่วนประกอบย่อยอื่นๆ โดยส่วนประกอบย่อยนี้ทำจากอะคริลิกใส และสเตนเลสที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้ว โดยใช้นอตที่ทำจากวัสดุกันสนิมในการจับยึด ดังแสดงใน รูปที่ 4.9

รูปที่ 4.9 โครงเครื่อง

รูปที่ 4.10 การยึดติดโครง

จากรูป 4.9 จะเห็นว่าได้ประกอบเป็นโครงของเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคแล้ว โดยมีการยึดติดระหว่างส่วนประกอบย่อยหลายๆชิ้น โดยการยึดติดโครงทำได้โดยการขันนอตเข้าไปในส่วนประกอบย่อยที่ทำจากสเตนเลสเพลา ที่ฝังไว้ในส่วนประกอบย่อยอีกชิ้นหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.10

4.4.2.2 ประกอบโครงเครื่องกับชุดขับเคลื่อนโดยการติดตั้งแท่นขับเกลียว แท่นมอเตอร์เกลียวขับ และเสาเพื่อช่วยในการเคลื่อนที่ขึ้น - ลง ของแท่นมอเตอร์ให้อยู่ในแนวเดียวกันตลอด หลังจากประกอบโครงเครื่องกับชุดขับเคลื่อนแล้ว จะแสดงดังรูปที่ 4.11 โดยการจับยึดส่วนประกอบเข้าด้วยกันนั้นต้องใช้นอตขนาดต่าง ซึ่งการจับยึดโดยใช้นอตแสดงดังรูปที่ 4.12

รูปที่ 4.11 โครงเครื่องที่ประกอบกับชุดขับเคลื่อน

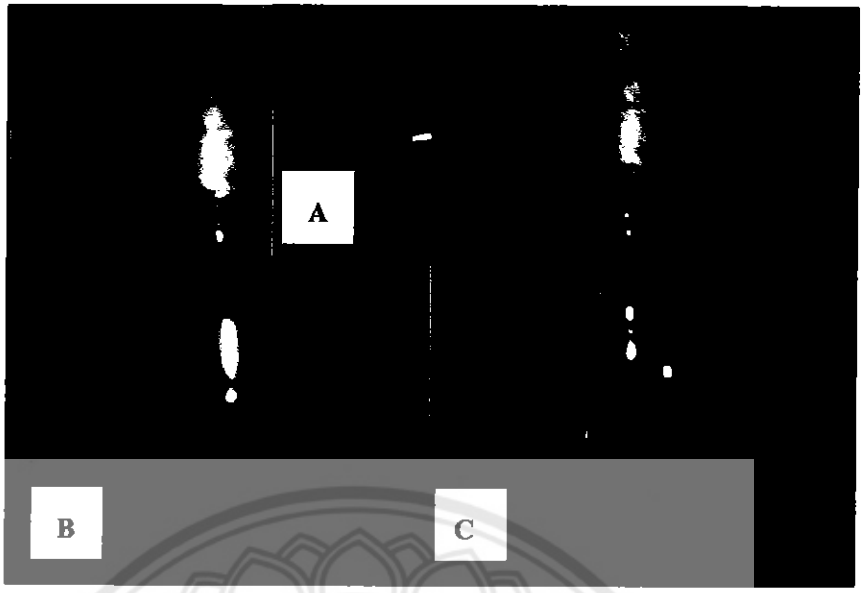
รูปที่ 4.12 การจับยึดชุดขับเคลื่อน

4.4.2.3 ติดตั้งชุดภาชนะบรรจุ ซึ่งภาชนะบรรจุนี้ทำจากวัสดุที่เป็นแก้วซึ่งมีข้อเสียคือการแตก หรือหัก ง่ายทำให้มีการออกแบบให้ส่วนประกอบย่อยที่เป็นแก้วมีการถอดออกและประกอบเข้าไปใหม่ได้โดยง่าย เครื่องผลิตวัสดุอนุภาคที่ติดตั้งเครื่องแก้วแสดงดังรูปที่ 4.13

ในส่วนประกอบย่อยที่เป็นภาชนะบรรจุนั้น ได้มีการประกอบร่วมกับส่วนประกอบย่อยอื่น เช่น ท่อเทปลอน วาล์วกันกลับ (Check Valve) เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการติดตั้ง

อีกทั้งยังมีชิ้นส่วนที่เป็นหัวฉีดซึ่งทำจากแก้ว ซึ่งการติดเข็มที่ปลายรูทางออกเพื่อให้มีการควบคุมขนาดของรูทางออกอย่างแม่นยำ โดยเข็มนี้เป็นเข็มที่หาได้ตามท้องตลาดทั่วไป โดยได้นำมาตัดเข็มให้สั้นเพื่อความปลอดภัย และไม่ทำให้เกะกะอีกด้วย ซึ่งแสดงการติดเข็มที่ปลายทางออกทุกรูดังรูปที่ 4.14

รูปที่ 4.13 โครงเครื่องที่ประกอบกับชุดขับเคลื่อน

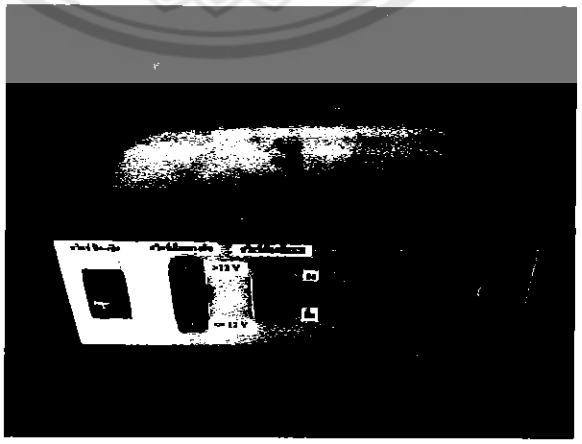


รูปที่ 4.14 ส่วนหัวฉีด

จากรูปที่ 4.14 รูป A แสดงรูปเข็มที่มีการตัดเข็มให้สั้นแล้ว รูป B แสดงชุดหัวฉีดที่ยังไม่มีการสวมเข็มเข้าไป ทำให้รูทางออกที่ขึ้นรูปมา ควบคุมขนาดได้ยาก จึงต้องมีการต่อเข็มเข้ากับหัวฉีดในทุกรูเพื่อให้ทางออกทุกๆรูเท่ากันหมดดังรูป C

4.2.3 กล่องควบคุม

ทำโครงกล่องควบคุม แล้วติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงไป กล่องควบคุมที่ประกอบเสร็จแล้วดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 กล่องควบคุม

4.2.3.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ก. สวิตช์ปิด-เปิด

ข. สวิตช์เลือกย่านแรงดัน

ค. สวิตช์กลับทางมอเตอร์

ง. ฟิวส์ขนาด 1 แอมป์

จ. หม้อแปลงขนาด 12-0-12 โวลต์เอซี 1 แอมป์

4.2.3.2 เร็คกูเรเตอร์ 0-30 โวลต์ 1 แอมป์

วงจรเร็คกูเรเตอร์ คือ วงจรควบคุมแรงไฟ DC ให้คงที่และราบเรียบสม่ำเสมอ สำหรับวงจรนี้นอกจากควบคุมแรงไฟให้ตรงแล้วยังมีโวลุ่มปรับให้ได้แรงดันตามต้องการ และในวงจรนี้ยังมีภาคเร็คติไฟร์ฟิวเตอร์อยู่บนแผ่นปริ้นท์เสร็จเรียบร้อยเพียงแต่ต่อไฟ AC 24 โวลต์เข้าก็ใช้ได้แล้ว

ก. ข้อมูลทางด้านเทคนิค

ก.1 ใช้หม้อแปลงขนาด 12-0-12 โวลต์เอซี 1 แอมป์

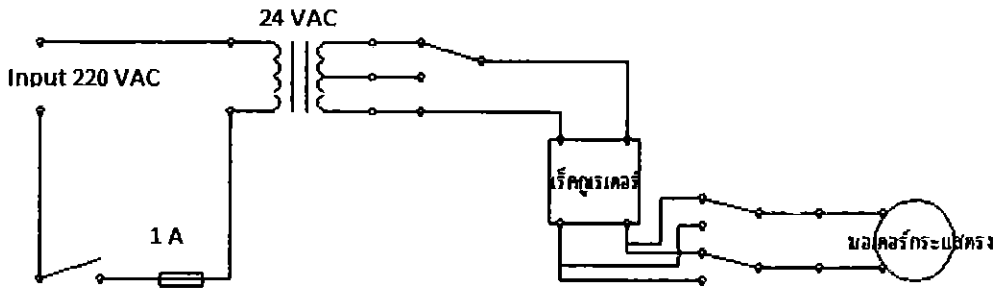
ก.2 สามารถปรับแรงดันเอาท์พุทได้ 1.5-30 โวลต์

ก.3 สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 1 แอมป์

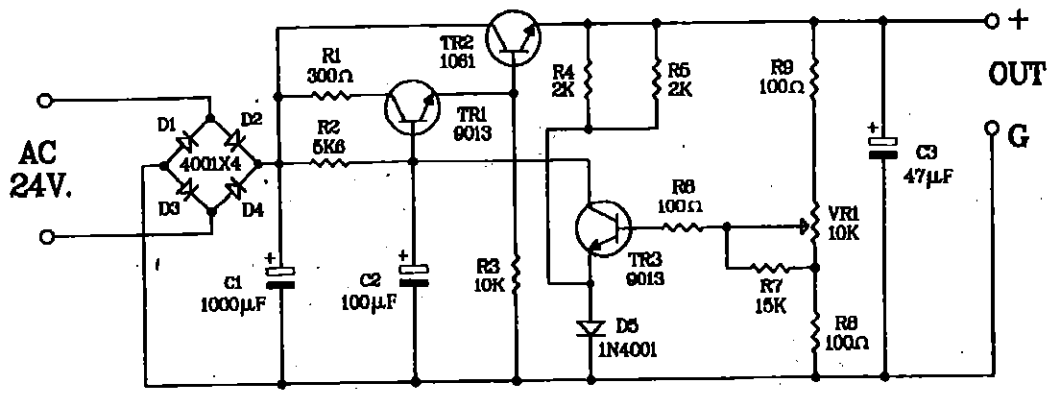
ก.4 ขนาดแผ่นวงจร 2.4 × 1.65 นิ้ว

ข. การนำไปใช้งาน

หม้อแปลงที่นำมาใช้ ควรใช้ไม่ต่ำกว่า 1 แอมป์ และจุด 12 ควรต่อผ่านสวิตช์เลื่อน ดังรูปที่ 4.16 ถ้าใช้ไฟเกิน 12 โวลต์ ให้ปรับสวิตช์เลื่อนมาทางหมายเลข 0 และถ้าใช้ไฟเกิน 12 โวลต์ ให้ปรับสวิตช์เลื่อนมาทาง 12 ดังรูป 4.17 สำหรับจุด OUT ที่ต่อไปใช้งาน วงจรที่ใช้จะต้องกินกระแสไม่เกิน 1 แอมป์



รูปที่ 4.16 การต่อวงจรควบคุม

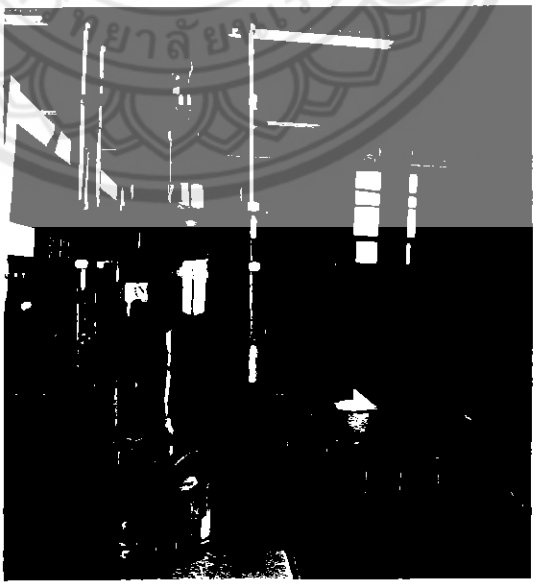


รูปที่ 4.17 วงจรเร็คกูเรเตอร์

ที่มา: เร็คกูเรเตอร์ (2550)

4.3 การเตรียมเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค

ในการเตรียมเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค จะต้องมีแหล่งจ่ายไฟ 220 โวลต์ เพื่อต่อเข้ากับชุดควบคุม และต่อชุดควบคุมไปยังเครื่องที่มีการติดตั้งเครื่องแก้วหรือภาชนะบรรจุเรียบร้อยแล้ว โดยมีลักษณะดังรูปที่ 4.18 ซึ่งมีอธิบายการใช้งานของเครื่องไว้ในภาคผนวก ข



รูปที่ 4.18 ลักษณะเครื่องที่เตรียมพร้อมสำหรับการผลิตวัสดุอนุภาค

4.4 การเตรียมสารเคมีและเครื่องมือวิเคราะห์ขนาด

4.4.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.5.1.1 รีโซซินอล (Resorcinol)

3.5.1.2 ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)

3.5.1.3 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate)

3.5.1.4 น้ำมันพาราฟิน(Paraffin Oil)

3.5.1.5 สารลดแรงตึงผิว ชนิด SPAN80 (Surfactant type SPAN80)

4.4.2 การผสมสารเคมี

4.4.2.1 การผสมรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์

ละลายรีโซซินอลกับน้ำให้เข้ากันโดยการปั่นกวน แล้วเติม โซเดียมคาร์บอเนตลงไป พอเข้าเป็นเนื้อเดียวกันหมด เติมฟอร์มัลดีไฮด์ลงไปแล้วทำการปั่นกวนประมาณ 5 นาที และ/หรือ เติมน้ำมันพาราฟินลงไป แล้วผสมให้เข้ากัน

4.4.2.2 การผสมน้ำมันพาราฟินกับสารลดแรงตึงผิว

ทำการผสมน้ำมันพาราฟินกับสารลดแรงตึงผิวให้เข้ากันโดยการปั่นกวนจนเห็นเป็นเนื้อเดียวกัน หรือใช้น้ำมันพาราฟินเพียงตัวเดียวก็ได้ หากมีการเติมสารลดแรงตึงผิวในขั้นตอนการผสมรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์แล้ว

ในการผสมน้ำมันพาราฟินกับสารลดแรงตึงผิวจะทำให้สารมีสีที่ใกล้เคียงกับรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ทำให้สังเกตความแตกต่างในการฉีดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำมันพาราฟินที่ผสมสารลดแรงตึงผิวได้ยาก แต่หากผสมสารลดแรงตึงผิวลงไปในรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ก็จะทำให้น้ำมันพาราฟินไม่มีสี จึงทำให้สังเกตการณ์ทดลองได้ง่าย ในโครงงานนี้จึงเลือกใช้การผสมสารลดแรงตึงผิว ลงในรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์

4.4.3 เครื่องมือวิเคราะห์ขนาด

วิเคราะห์ขนาดโดยการถ่ายภาพวัสดุอนุภาคโดยกล้องกล้อง Microscope Warranty Model ZM-F 603 แล้วใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวัดขนาดอนุภาคเพื่อนำผลการวัดขนาดมาวิเคราะห์

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

4.5 ผลการทดลองเปรียบเทียบตำแหน่งปลายเข็มในการฉีดสารละลายรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์

จากการทดลองเปรียบเทียบตำแหน่งปลายเข็มในการฉีดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ ได้ผลที่แตกต่างกันคือ การฉีดแบบปลายเข็มจมจะทำให้เกิดเม็ดอนุภาคที่ผสมกับรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ที่เป็นสายออกมาจากปลายเข็ม จึงทำให้วิธีนี้ได้ผลที่ไม่ดีเท่าที่ควร และการฉีดแบบปลายเข็มลอย จะทำให้เม็ดอนุภาคที่ปลายเข็มแล้วหยดลงสู่น้ำมันพาราฟิน แล้วเกิดเป็นเม็ดอนุภาคในน้ำมันพาราฟินได้ดีกว่าการฉีดแบบปลายเข็มจม

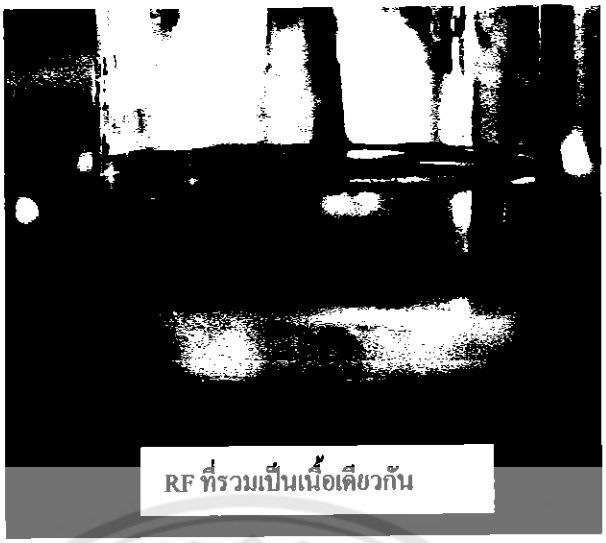
และในการทดลองนี้ขณะที่เครื่องผลิตวัสดุอนุภาคทำการฉีดมอเตอร์จะมีการหมุนที่ค่อนข้างคงที่แต่จะมีบางครั้งที่มีการสะดุดในการหมุนของมอเตอร์ซึ่งมาจากการไม่ราบเรียบของเกลียวที่ใช้ในการขับลูกสูบ ซึ่งหากใช้วิธีฉีดแบบปลายเข็มจม แล้วมีการสะดุดของมอเตอร์ก็จะทำให้รีโซซิ-นอลฟอร์มัลดีไฮด์ที่ฉีดออกมาไม่คงที่และเกิดเป็นเส้นหรือไม่เป็นเม็ดได้ แต่หากใช้วิธีฉีดแบบปลายเข็มลอยนั้นหากมอเตอร์สะดุด รีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ที่ออกมาจะไม่เป็นเส้น เนื่องจากการที่รีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์เป็นทรงกลมอยู่เหนือน้ำมันพาราฟินตลอดก่อนที่จะหยดลงโดยไม่เปลี่ยนรูปทรง

ดังนั้นในการทดลองนี้จึงใช้วิธีการฉีดแบบปลายเข็มลอยเพื่อให้เกิดเม็ดอนุภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

4.6 ผลการทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการฉีดสารละลายรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์

เนื่องจากหากฉีดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ออกมาเลยนั้น จะทำให้รีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์เกิดการรวมตัวกันอีกครั้งและเมื่อแข็งตัวก็จะเป็นเนื้อเดียวกันดังรูปที่ 4.19 แต่หากได้สภาวะที่เหมาะสมคือ ในสภาวะที่รีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มกลายเป็นเจล ก็จะทำให้สารมีความหนืดมากเมื่อฉีดออกมาก็จะไม่รวมตัวกันแต่จะแยกตัวเป็นเม็ดเหมือนตอนที่เริ่มฉีดออกมาจากปลายเข็ม

I 5060163
ฝง.
3194ก
2552



รูปที่ 4.19 รีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ที่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน

โดยในการทดลองนี้มีการนำตัวอย่างรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ในแต่ละจุดเวลามาฉีดลงในพาราฟีน โดยมีการสังเกตการเป็นหยดที่เหมาะสมด้วยตาเปล่าเพื่อหาเวลาในการนำโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์มาฉีด โดยตัวอย่างรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ที่ตั้งทิ้งไว้แสดงดังรูปที่ 4.20 และได้ผลการทดลองจากการจับเวลาดังตารางที่ 4.2 ซึ่งในการจับเวลานี้จะจับเวลาเพื่อนำสารมาฉีดเพื่อสังเกตการณ์เกิดเป็นเม็ดอนุภาคช่วงละ 60 นาที

รูปที่ 4.20 ตัวอย่างรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ที่ตั้งทิ้งไว้

ตารางที่ 4.1 ผลของการฉีดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ ช่วงละ 60 นาที

การฉีดครั้งที่	เวลาในการนำสารมาฉีด ณ อุณหภูมิห้อง(นาที)	ผลการทดลอง
1	0	สารจมลงในภาชนะบรรจุแล้วรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน
2	60	ฉีดออกมาเป็นหยดแล้วจมลงอย่างช้าๆ จนถึงก้นภาชนะบรรจุ แล้วเม็ดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์จะค่อยๆ รวมเป็นเนื้อเดียวกัน
3	120	ผลการทดลองที่ได้ เหมือนกับผลการทดลองในการทดลองที่ 2 แต่มีข้อแตกต่างที่ เมื่อสารจมถึงก้นภาชนะแล้ว จะรวมตัวกันช้ากว่า และก่อนการรวมตัวกันนั้นยังคงมีรูปร่างทรงกลมอยู่แล้วค่อย แบนลงตามแรงโน้มถ่วงจนรวมเป็นเนื้อเดียวกัน
4	180	ผลการทดลองเหมือนการทดลองที่ 3 และดูจากสายตาสารเริ่มมีความหนืดมากขึ้น
5	240	สารมีความหนืดมากและเริ่มฟอร์มตัวเป็นเจล
6	>240	สารเริ่มแข็งตัวขึ้นจนกลายเป็นของแข็ง

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าช่วงเวลาที่สารเริ่มมีความหนืดที่เหมาะสมอยู่ในช่วงเวลาที่ 180-240 นาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่กว้างมากจึงต้องมีการทดลองซ้ำอีกครั้ง โดยการสังเกตการณ์เฉพาะจุดของเวลา 190-230 นาที ซึ่งสังเกตช่วงละ 10 นาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลของการฉีดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ ช่วงละ 10 นาที

การฉีดครั้งที่	เวลาในการนำสารมาฉีด ณ อุณหภูมิห้อง(นาที)	ผลการทดลอง
1	190	เริ่มขึ้นรูปเป็นเม็ดได้แต่มีบางส่วนของเม็ดที่ติดกัน
2	200	มีความหนืดพอดี เมื่อฉีดออกมาแล้วขึ้นรูปเป็นเม็ดได้และมีการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันน้อย
3	210	มีความหนืดสูงฉีดออกมาแล้วเม็ดอนุภาคจะมีลักษณะเป็นทรงกลม
4	220	การฉีดต้องใช้แรงมาก ฉีดออกมาเป็นเจล
5	230	หนืดมาก ไม่สามารถฉีดออกจากปลายเข็มได้

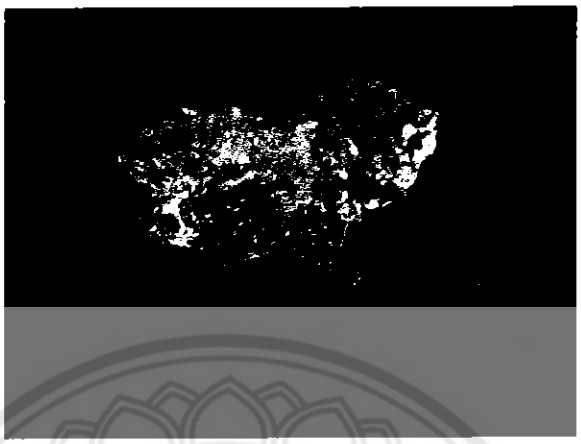
รูปที่ 4.21 ตัวอย่างเม็ดอนุภาคที่เวลา 0-180 นาที

จากรูปที่ 4.21 จะเห็นว่าเมื่อสารถูกฉีดออกมาก็จะเป็นทรงกลม แล้วเริ่มจมลงจนถึงก้นภาชนะบรรจุ แล้วมีการรวมเป็นเนื้อเดียวกัน

รูปที่ 4.22 ตัวอย่างเม็ดอนุภาคที่เวลา 190-210 นาที

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นว่าเมื่อสารถูกฉีดออกมาก็จะเป็นทรงกลม แล้วเริ่มจมลงจนถึงก้นภาชนะบรรจุ แล้วมีการรวมเป็นเนื้อเดียวกันน้อยมาก แต่จะมีบางเม็ดที่มีรูปร่างบิดเบี้ยวเนื่องจากการกดทับ

ของน้ำหนักเม็ดอนุภาคเอง ส่วนลักษณะของรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ หลังจากการฉีดในนาทีที่ 220 จะไม่เกิดเป็นเม็ด แต่จะมีลักษณะเป็นเจลดังรูปที่ 4.23



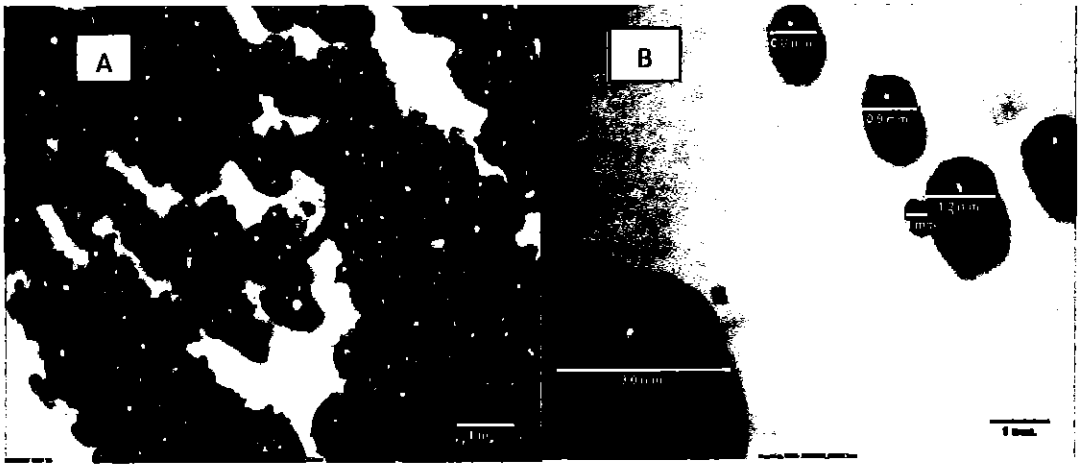
รูปที่ 4.23 ตัวอย่างรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ที่ฉีดออกมาหลังจาก 220 นาที

จากการทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการฉีดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ โดยในครั้งแรกทดลองในช่วงเวลาช่วงละ 60 นาที ได้ผลการทดลองคือ ในนาทีที่ 180-240 มีความเหมาะสมที่สุดในการฉีดออกมาเป็นเม็ดอนุภาค แต่เป็นช่วงเวลาที่กว้างจึงได้มีการทดลองซ้ำโดยสังเกตการณ์ในช่วงนาทีที่ 190-230 ได้ผลการทดลองคือ ในนาทีที่ 210 สามารถฉีดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ออกมามีลักษณะเป็นเม็ดได้ดีที่สุด

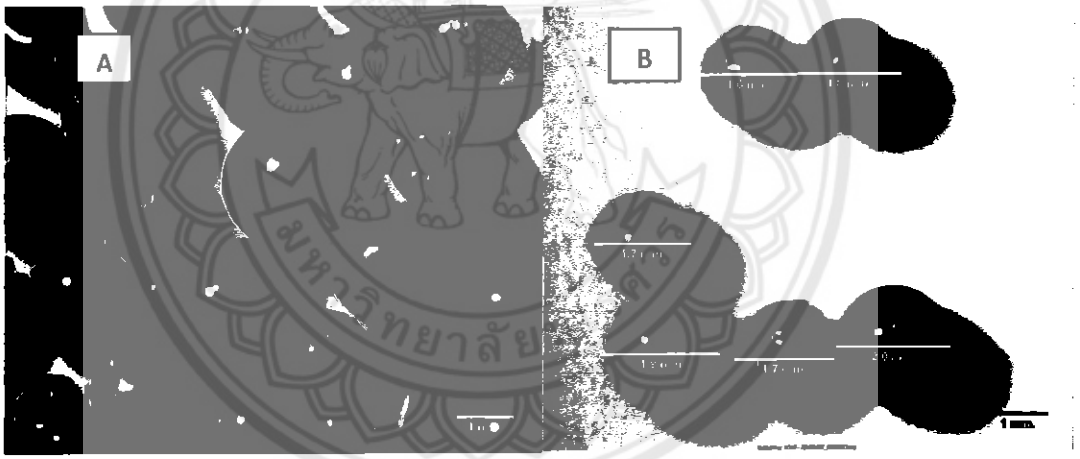
จึงมีการผลิตวัสดุอนุภาคโดยวิธีการฉีดและวิธีการปั่นกวนที่รีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ ใช้เวลาในการแข็งตัวในนาทีที่ 210 และมีช่วงเวลาที่ใช้ในการฉีดสารได้ไม่เกิน 10 นาที หรือไม่เกินเวลาในการแข็งตัวในนาทีที่ 220 มิฉะนั้นแล้วจะทำให้รีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์มีความเป็นเจลมากเกินไปจนไม่สามารถฉีดออกมาเป็นเม็ดอนุภาคได้

4.7 ผลการทดลองผลิตวัสดุอนุภาคโดยวิธีการปั่นกวนและวิธีการฉีดด้วยเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค

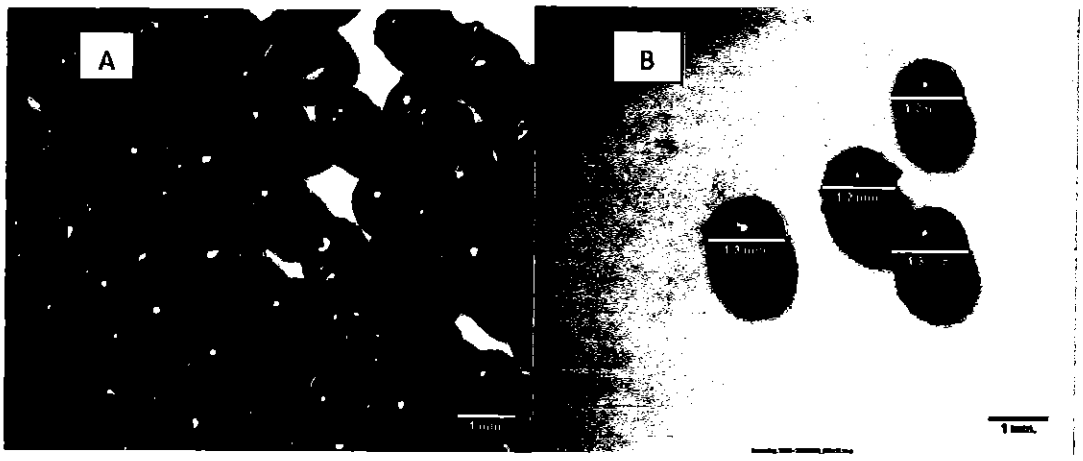
ผลการทดลองผลิตวัสดุอนุภาคโดยวิธีการปั่นกวนและวิธีการฉีดด้วยเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค ซึ่งได้ใช้กล้องไมโครสโคป และโปรแกรมสำเร็จรูปในการตรวจวัดขนาดของเม็ดอนุภาคดังแสดงไว้ในภาคผนวก ค โดยมีลักษณะของเม็ดอนุภาคดังรูปที่ 4.24 รูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.24 ตัวอย่างวัสดุอนุภาคที่ผลิตโดยวิธีปั่นกวน

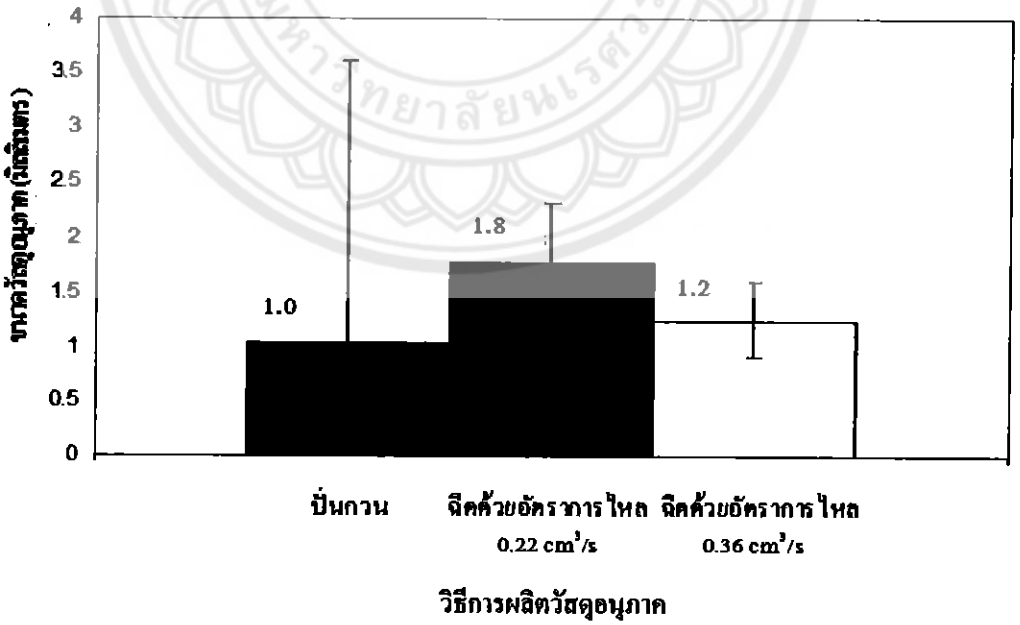


รูปที่ 4.25 ตัวอย่างวัสดุอนุภาคที่ผลิตโดยเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคที่อัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.26 ตัวอย่างวัสดุอนุภาคที่ผลิตโดยเครื่องผลิตวัสดุอนุภาคที่อัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที

จากรูปที่ 4.24 รูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26 รูป A จะเป็นรูปของวัสดุอนุภาคที่ถ่ายจากกล้องกล้อง Microscope Warranty Model ZM-F 603และรูป B คือรูปที่ถ่ายจากกล้องดังกล่าวแล้วนำมาวิเคราะห์ขนาด



รูปที่ 4.27 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคเฉลี่ยของการผลิตวัสดุอนุภาคในแต่ละแบบ

จากรูปที่ 4.27 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคมีความแตกต่างกัน โดยการผลิตวัสดุอนุภาคแบบปั่นกวนมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 1.0 มิลลิเมตร การผลิตวัสดุอนุภาคโดยใช้เครื่องผลิตวัสดุอนุภาคที่ใช้ไฟฟ้า 12 โวลต์ มีอัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที ได้ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 1.8 มิลลิเมตรและการผลิตวัสดุอนุภาคโดยใช้เครื่องผลิตวัสดุอนุภาคที่ใช้ไฟฟ้า 24 โวลต์ มีอัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาทีได้ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 1.2 มิลลิเมตร

อีกทั้งยังเห็นได้ว่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคมีการกระจายตัวที่ต่างกัน โดยการผลิตวัสดุอนุภาคโดยวิธีการปั่นกวนให้การกระจายตัวของขนาดที่สูงกว่าการผลิตวัสดุอนุภาคโดยใช้เครื่องผลิตวัสดุอนุภาคทั้ง 2

4.8 วิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่ขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ

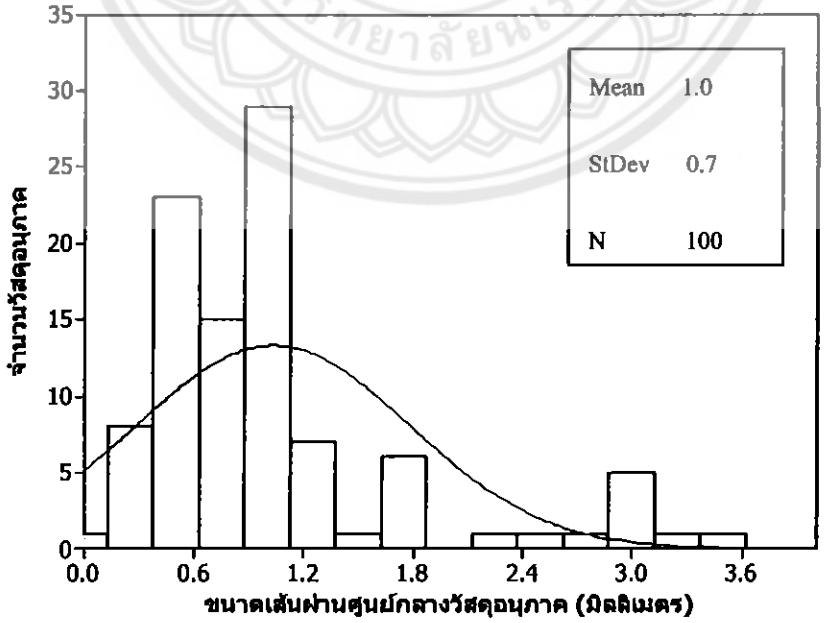
ตารางที่ 4.3 จำนวนอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด

ช่วงขนาด (มิลลิเมตร)	จำนวนอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด (เม็ด)		
	ตัวอย่างปั่นกวน	ตัวอย่างจากเครื่องขึ้นรูปอนุภาค	
		อัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที	อัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที
0.2	3	0	0
0.4	21	0	0
0.6	8	0	0
0.8	15	0	0
1.0	18	0	13
1.2	18	0	49
1.4	0	5	31
1.6	1	27	7
1.8	6	37	0
2.0	0	23	0
2.2	0	6	0
2.4	1	2	0
2.6	1	0	0
2.8	1	0	0

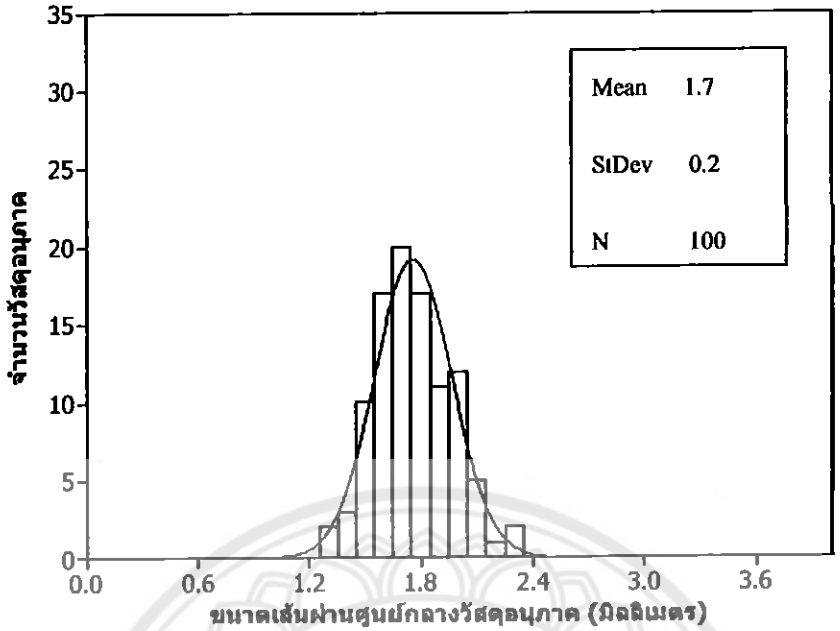
ตารางที่ 4.4 (ต่อ) จำนวนอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด

ช่วงขนาด (มิลลิเมตร)	จำนวนอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด (เม็ด)		
	ตัวอย่างปั่นกวน	ตัวอย่างจากเครื่องขึ้นรูปอนุภาค	
		อัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อวินาที	อัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อวินาที
3.0	5	0	0
3.2	1	0	0
3.4	0	0	0
3.6	1	0	0
รวม	100	100	100

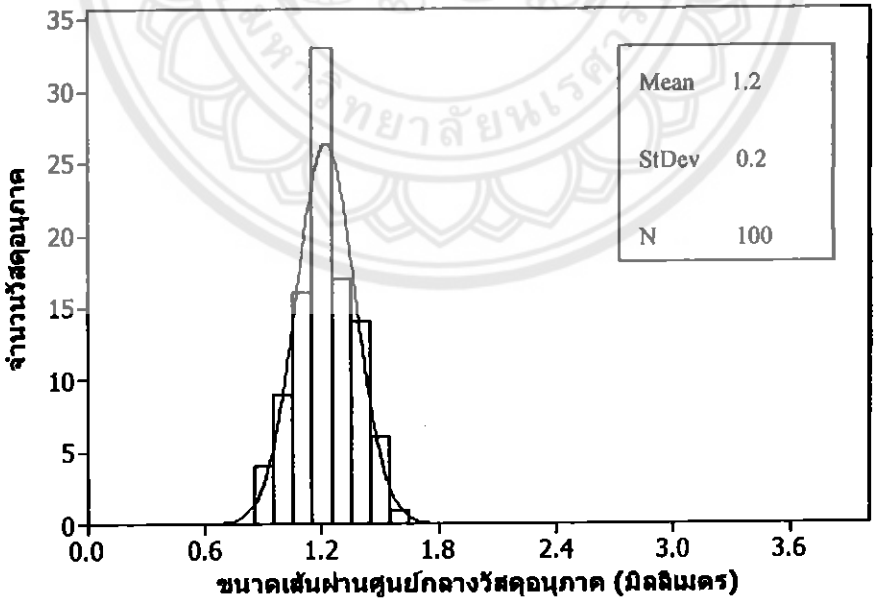
จากตารางที่ 4.4 นำมาเขียนกราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคโดยวิธีปั่นกวนดังแสดงในรูปที่ 4.28 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยใช้เครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 12โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.29 และกราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยใช้เครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 24 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคโดยวิธีปั่นกวน



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคโดยใช้เครื่องผลิตวัสดุอนุภาคที่อัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคโดยใช้เครื่องผลิตวัสดุอนุภาคที่อัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที

จากรูปที่ 4.28 แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยวิธีปั่นกวน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.0 มิลลิเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.7 จะเห็นว่าขนาดอนุภาคที่ผลิตโดยวิธีปั่นกวนมีการกระจายตัวกว้าง ทั้งนี้เนื่องจากในการผลิตวัสดุอนุภาคโดยวิธีปั่นกวน สามารถควบคุมขนาดและการกระจายตัวของขนาดได้ยาก จึงส่งผลให้ได้มีขนาดอนุภาคที่หลากหลายและมีการกระจายตัวบนเส้นโค้งการกระจายตัวแบบปกติที่ไม่สมมาตร

จากรูปที่ 4.29 และรูปที่ 4.30 แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยใช้เครื่องผลิตวัสดุอนุภาค มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.8 มิลลิเมตร และ1.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.2 และ 0.2 ตามลำดับ จะเห็นว่าขนาดอนุภาคโดยใช้เครื่องผลิตวัสดุอนุภาค มีการกระจายตัวที่แคบกว่าการผลิตวัสดุอนุภาคโดยวิธีการปั่นกวนมาก และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่าการปั่นกวน อีกทั้งการกระจายตัวของขนาดบนเส้นโค้งการกระจายตัวแบบปกติค่อนข้างสมมาตร

สรุปได้ว่าการผลิตวัสดุอนุภาคโดยใช้เครื่องผลิตวัสดุอนุภาคที่สร้างระบบสารอิมัลชันโดยใช้การฉีดสารผ่านรูขนาดเล็กมีความใกล้เคียงกันของขนาดมากกว่าการผลิตวัสดุอนุภาคโดยการปั่นกวน

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การผลิตวัสดุอนุภาคด้วยวิธีการสร้างระบบสารอิมัลชันจากเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค สามารถผลิตวัสดุอนุภาคที่เป็นทรงกลมและมีการกระจายตัวของขนาดที่แคบกว่าการผลิตวัสดุอนุภาคโดยวิธีการปั่นกวน โดยลักษณะการฉีดที่เหมาะสมสำหรับการฉีดรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ คือการฉีดแบบปลายเข็มลอยเนื่องจากสามารถควบคุมการรักษารูปทรงให้เป็นทรงกลมได้ดีกว่าการฉีดแบบปลายเข็มจม และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการฉีด ผ่านรูขนาดเล็ก ซึ่งได้มีการทดลองในโครงงานนี้สามารถสรุปได้ว่า ควรฉีดสารในสภาวะที่ใกล้เป็นเจล และฉีดในเวลาที่จำกัดเนื่องจากรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์เมื่อใกล้เป็นเจลแล้วจะใช้เวลาในการกลายเป็นเจลน้อยมากจึงต้องใช้เวลาในการฉีดสารดังกล่าวให้น้อยที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 มีการแสดงผลอัตราการไหลจากการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ เพื่อการปรับค่าของอัตราการไหลได้หลากหลายมากขึ้น ซึ่งในโครงงานนี้สามารถปรับอัตราการไหลได้เพียง 2 ค่าเท่านั้น โดยที่การติดตั้งหน้าจอแสดงผลการตรวจวัดอัตราการไหลแบบดิจิตอลเพื่อให้ได้ค่าตัวเลขที่แน่นอน

5.2.2 ควรมีระบบป้องกันการกระแทกในระหว่างการเคลื่อนที่ขึ้นลงของ ลูกสูบในขณะดูดสารและฉีดสาร โดยมีการติดตั้งไมโครสวิตช์ซึ่งติดตั้งไว้ที่ด้านบนและด้านล่างของแท่นติดตั้งมอเตอร์เพื่อเป็นตัวตัดวงจรขณะที่ใกล้ระยะที่อาจมีการกระแทกกันจนทำให้เครื่องผลิตวัสดุอนุภาคเกิดการเสียหายได้

เอกสารอ้างอิง

พงศ์ สุวรรณปิฎก. (2525). **มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกระแสสลับ.** กรุงเทพ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

พิมพร ลีลาพิสิทธ์. (2532). **เครื่องสำอางสำหรับผิวหนัง.** ภาควิชาเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่.

เร็คกูเรเตอร์. (2550) [แผ่นพับ].เชียงใหม่: สำนักพิมพ์ฟิวเจอร์ดิท

สุจิตรา วงศ์เกษมจิตต์. (2552). **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: กระบวนการ โซล-เจล.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์. (2547). **กลศาสตร์ของไหล.** กรุงเทพ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมศักดิ์ ศรีสันติสุข. (2538). **ระเบียบวิธีวิจัย.** ขอนแก่น: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Lingling Shuin, Jan C.T. Eijkel, Albert van den Berg.(2007).Multiphase flow in microfluidic systems-Control and applications of droplets and interfaces. **Advances in Colloid and Interface Science.** (133),35-49.

T. Kawakatsu, G. Traagaardh, Ch. Traagaardh, M. Nakajima, N. Oda ,T. Yonemoto. (2001). Theeffect of the hydrophobicity of microchannels and components in water and oil phases on droplet formation in microchannel water-in-oil Emulsification. **Colloids and Surfaces.** (179),29-37.

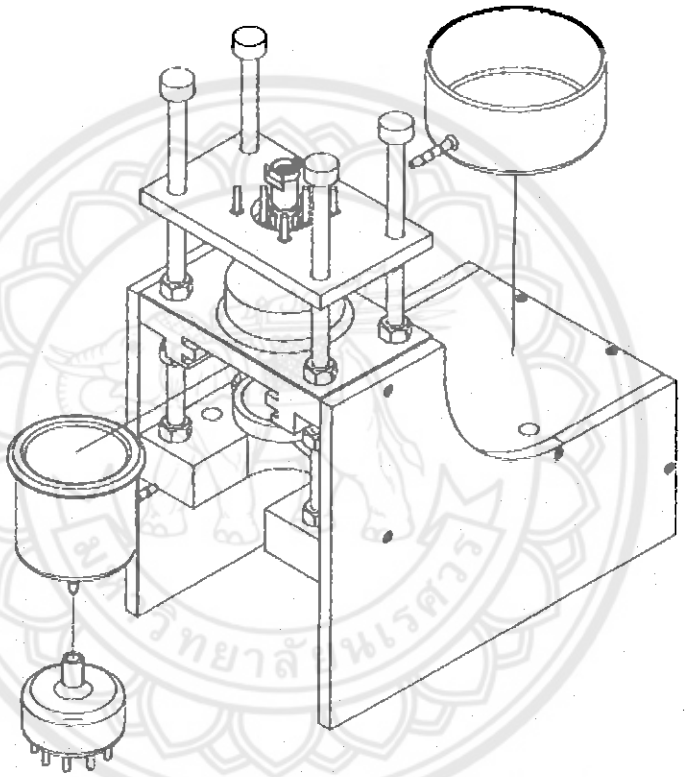
Yamamoto T, Akira Endo, Apiluck Eiad-ua, Takao Ohmori, and Masaru Nakaiwa. (2007). Synthesis of Monodisperse Carbon Beads with Developed Mesoporosity. **AIChE Journal.** (53),746-749.

Yamamoto T, Sugimoto T, Suzuki T, Mukai SR, Tamon H. (2002). Preparation and characterization of carbon cryogel microspheres. **Carbon.** (2002;40), 1345–1351.

Yung-Chieh Tan, Jeffrey S. Fisher,a Alan I. Lee, Vittorio Cristini and Abraham Phillip Lee. (2004). Design of microfluidic channel geometries for the control of droplet volume chemical concentration and sorting. **LabChip.** 4 , 92 – 298.

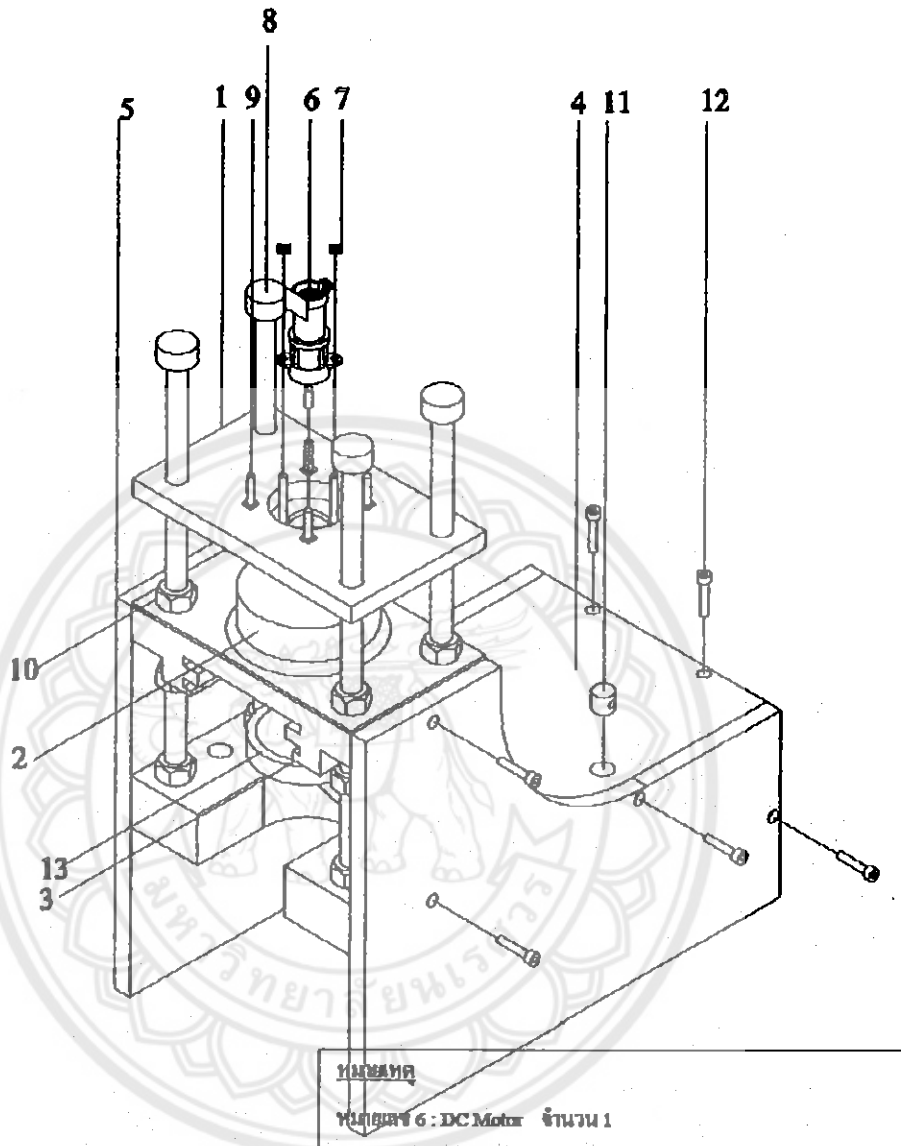
Yung-Chieh Tan ,Vittorio Cristini , Abraham P. Lee. (2005). Monodispersed microfluidic droplet generation by shear focusing microfluidic device Sensors and Actuators. **B chem.** 114-350.

ภาคผนวก ก



DESIGN OF EQUIPMENT TO PRODUCE A WELL-DEFINED PARTICULAR MATERIAL BY INVERSE-PHASE EMULSIFICATION				
เครื่องผลิตวัสดุ	DESIGNED_BY WARACHET AUTTIYA	QUANTITY	DIMENSION MILLIMETRES	
MATERIAL	CHECKED_BY	DATE 10/02/10	SCALE	SHEET 1/14

รูปที่ ก.1 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 1/14



หมายเหตุ

หมายเลข 6 : DC Motor จำนวน 1

หมายเลข 7 : แหวนอีแคลิ่ว D 4 mm. จำนวน 6

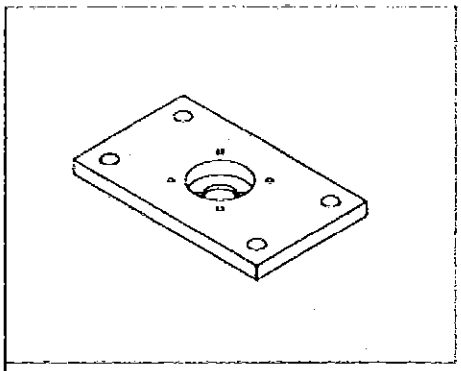
หมายเลข 9 : น็อตหัวแฉก D 4 mm., L 40 mm. จำนวน 6

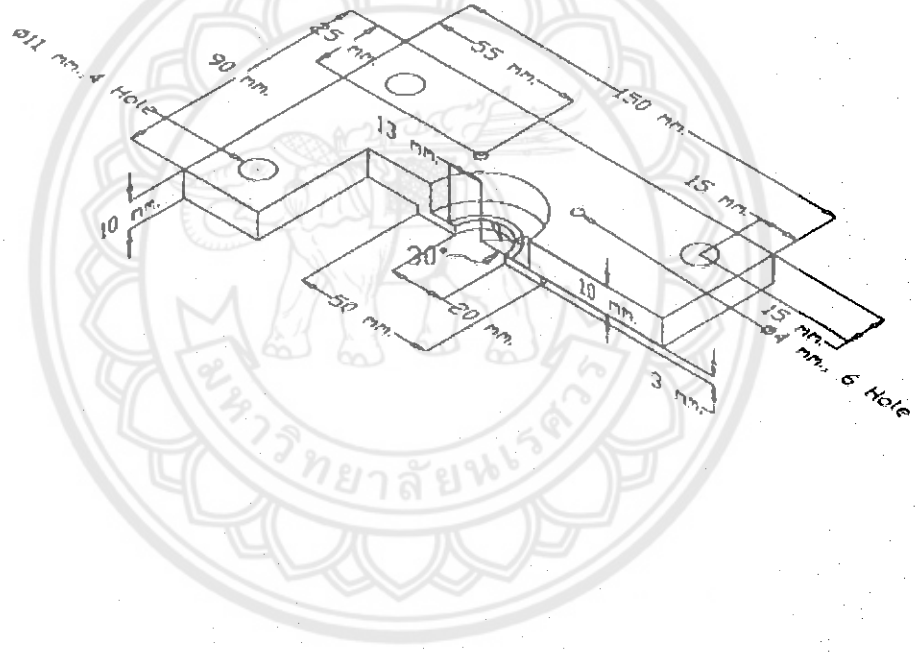
หมายเลข 10 : น็อตหัวมิล หกเหลี่ยม เบอร์ 17 จำนวน 10

หมายเลข 12 : น็อตหัวบล็อก 6 เหลี่ยม D 4 mm., L 20 mm.

DESIGN OF EQUIPMENT TO PRODUCE A WELL-DEFINED PARTICULAR MATERIAL BY INVERSE-PHASE EMULSIFICATION				
ชื่อชิ้นส่วนประกอบ	DESIGNED_BY WARACHET AUTTIYA	QUANTITY	DIMENSION MILLIMETRES	
MATERIAL	CHECKED_BY	DATE 10/02/10	SCALE	SHEET 2/14

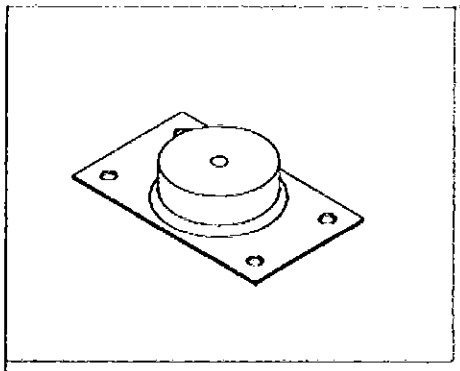
รูปที่ ก.2 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 2/14

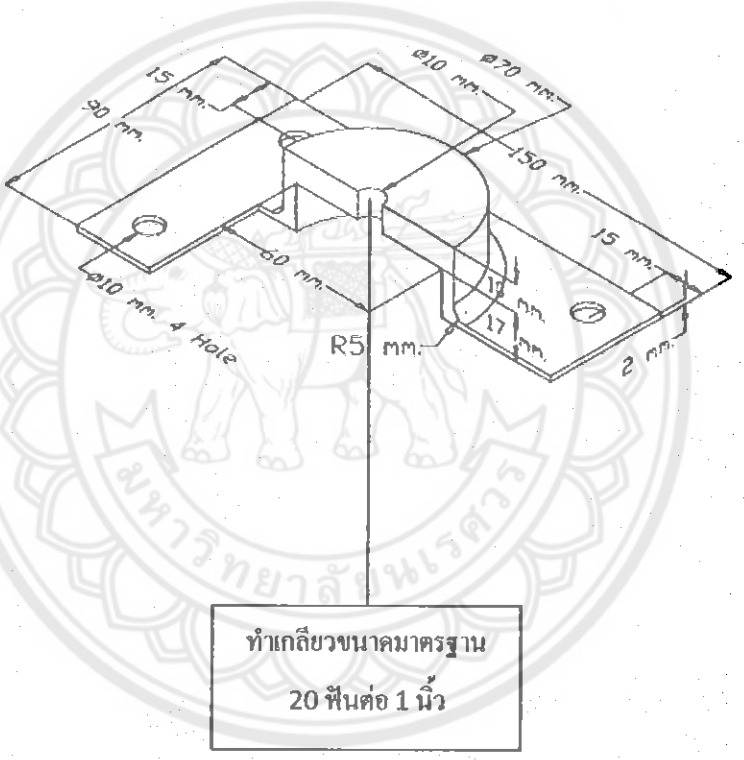




DESIGN OF EQUIPMENT TO PRODUCE A WELL-DEFINED PARTICULAR MATERIAL BY INVERSE-PHASE EMULSIFICATION				
ส่วนที่ 1	DESIGNED_BY WARACHET AUTTIYA	QUANTITY 1	DIMENSION MILLIMETRES	
MATERIAL อะคริลิก	CHECKED_BY	DATE 10/02/1	SCALE 1:1	SHEET 3/14

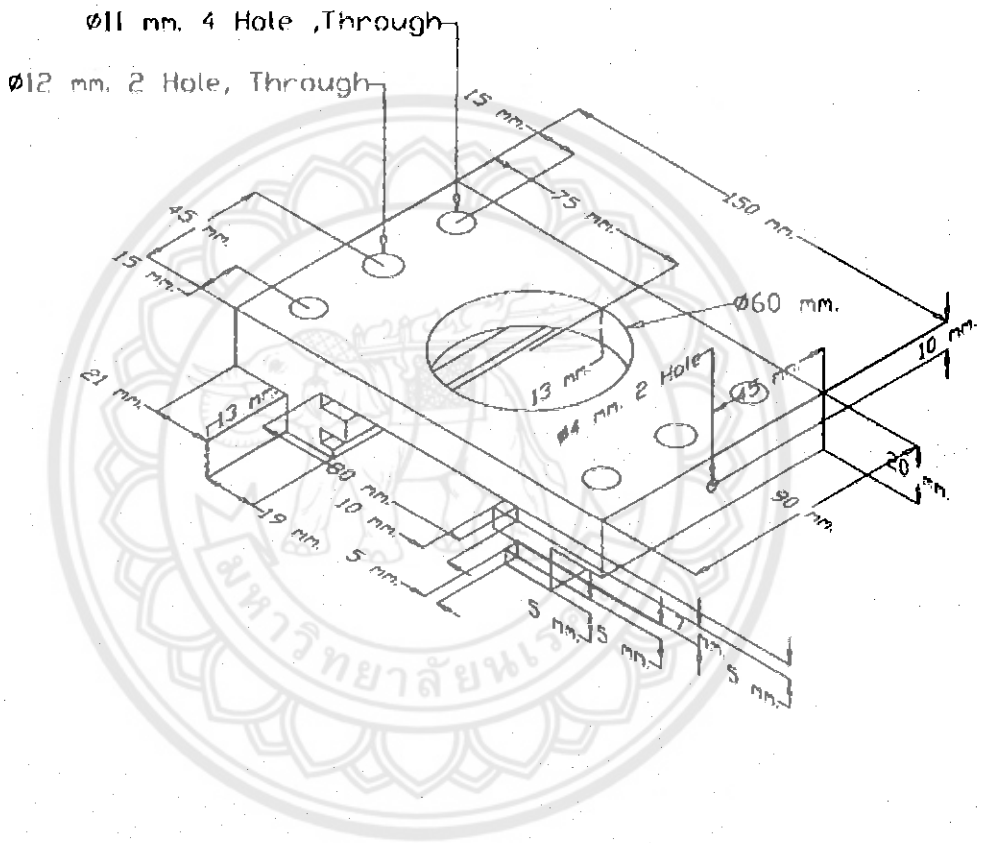
รูปที่ ก.3 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 3/14





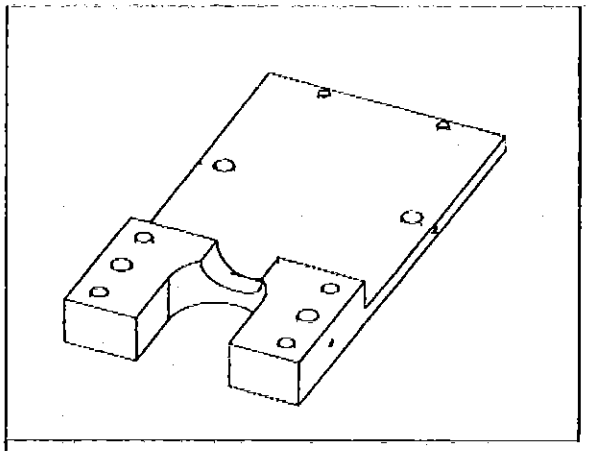
DESIGN OF EQUIPMENT TO PRODUCE A WELL-DEFINED PARTICULAR MATERIAL BY INVERSE-PHASE EMULSIFICATION				
ส่วนที่ 2	DESIGNED_BY WARACHET AUTTIYA	QUANTITY 1	DIMENSION MILLIMETRES	
MATERIAL สเตนเลส	CHECKED_BY	DATE 10/02/10	SCALE 1:1	SHEET 4/14

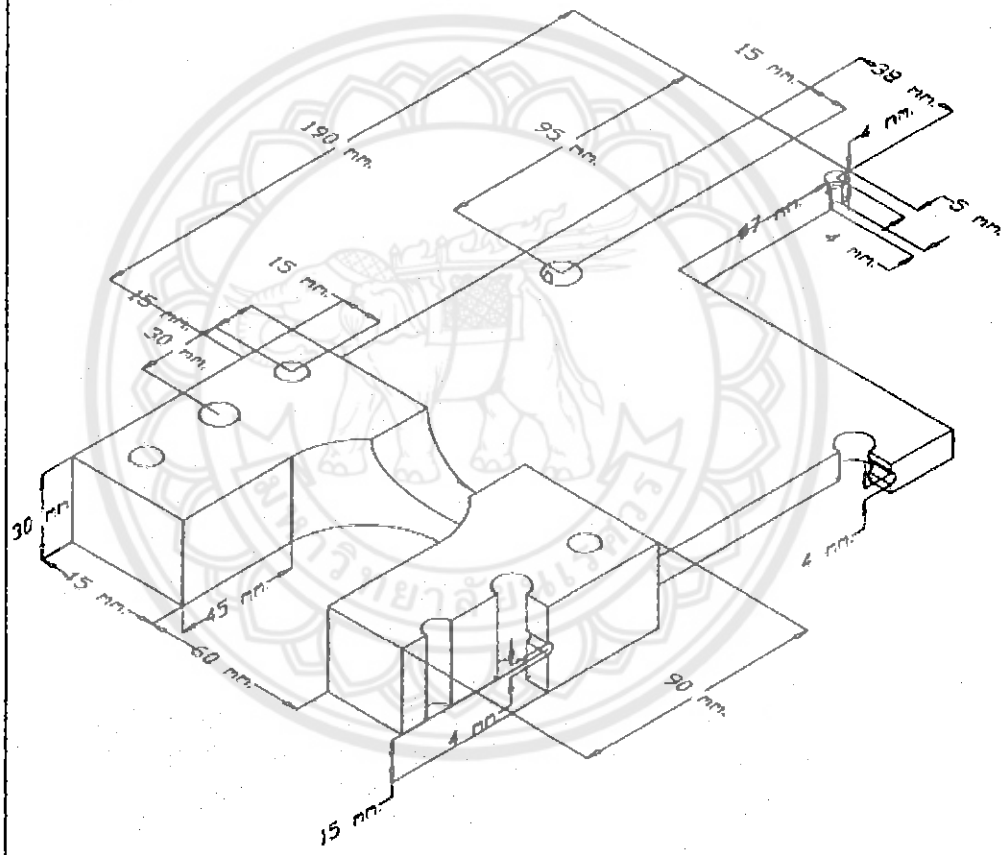
รูปที่ ก.4 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 4/14



DESIGN OF EQUIPMENT TO PRODUCE A WELL-DEFINED PARTICULAR MATERIAL BY INVERSE-PHASE EMULSIFICATION				
ส่วนที่ 3	DESIGNED_BY WARACHET AUTTIYA	QUANTITY 1	DIMENSION MILLIMETRES	
MATERIAL อะคริลิก	CHECKED_BY	DATE 10/02/10	SCALE 1:1	SHEET 5/14

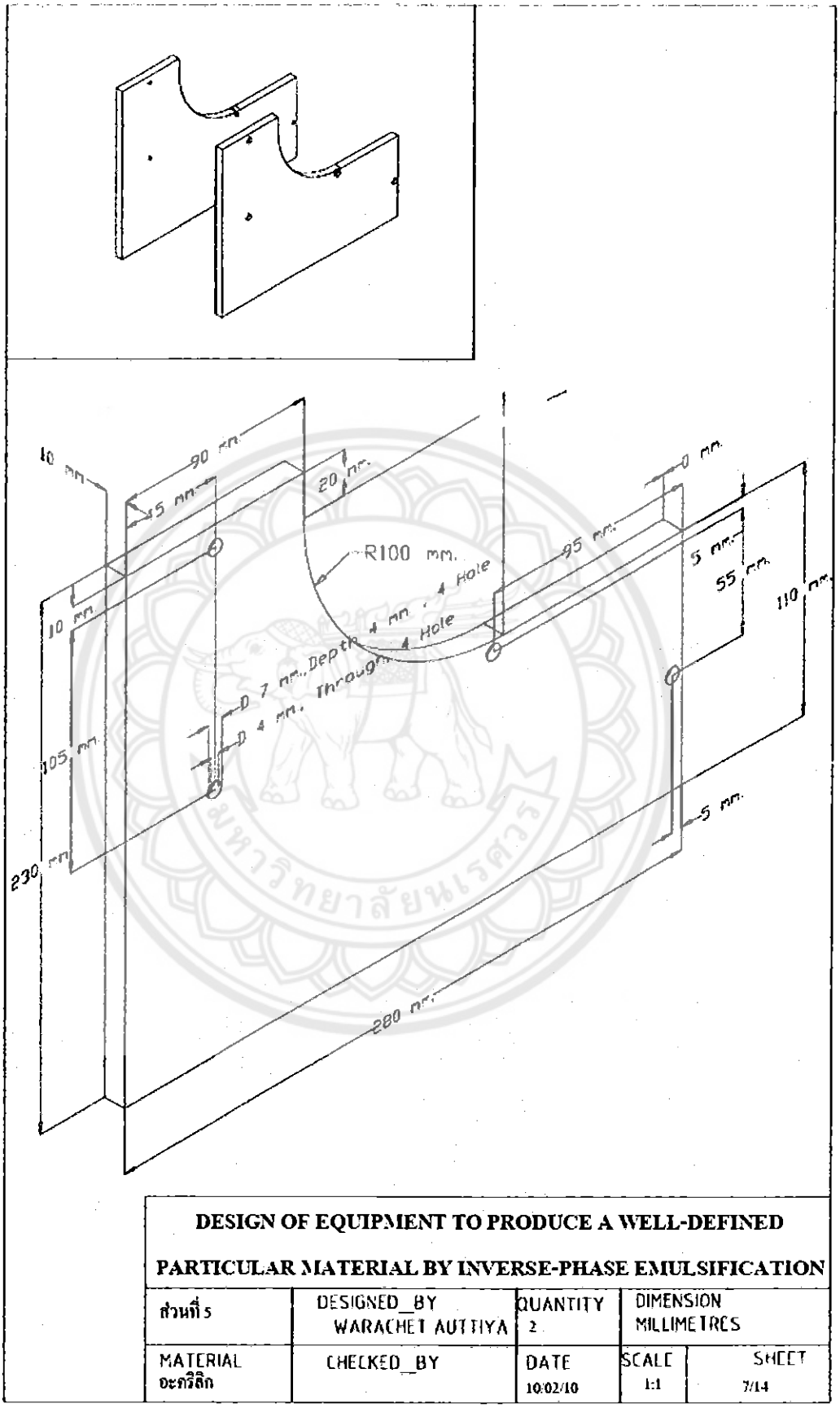
รูปที่ ก.5 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 5/14





DESIGN OF EQUIPMENT TO PRODUCE A WELL-DEFINED PARTICULAR MATERIAL BY INVERSE-PHASE EMULSIFICATION				
ส่วนที่ 4	DESIGNED_BY WARACHET AUTTIYA	QUANTITY 1	DIMENSION MILLIMETRES	
MATERIAL อะคริลิก	CHECKED_BY	DATE 10/02/10	SCALE 1:1	SHEET 6/14

รูปที่ ก.6 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 6/14



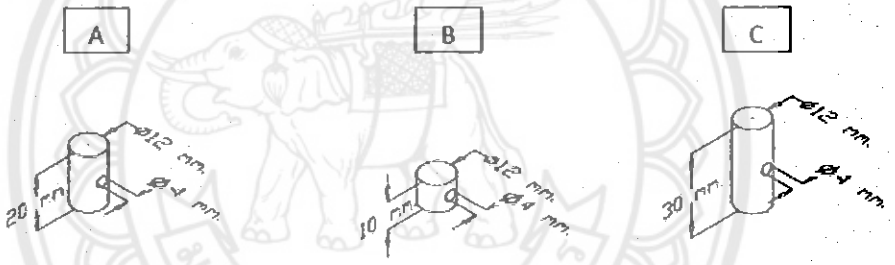
รูปที่ ก.7 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 7/14

หมายเหตุ :

เพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตรทำการกลึงเกลียวสำกรับนอตหกเหลี่ยมเบอร์ 17 เป็นระยะ 150 มิลลิเมตรนับจากฐาน

DESIGN OF EQUIPMENT TO PRODUCE A WELL-DEFINED PARTICULAR MATERIAL BY INVERSE-PHASE EMULSIFICATION				
ส่วนที่ 8	DESIGNED_BY WARACHET AUTTIYA	QUANTITY 4	DIMENSION MILLIMETRES	
MATERIAL สเตนเลส	CHECKED_BY	DATE 10/02/10	SCALE 1:1	SHEET 8/14

รูปที่ ก.8 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 8/14



หมายเหตุ :

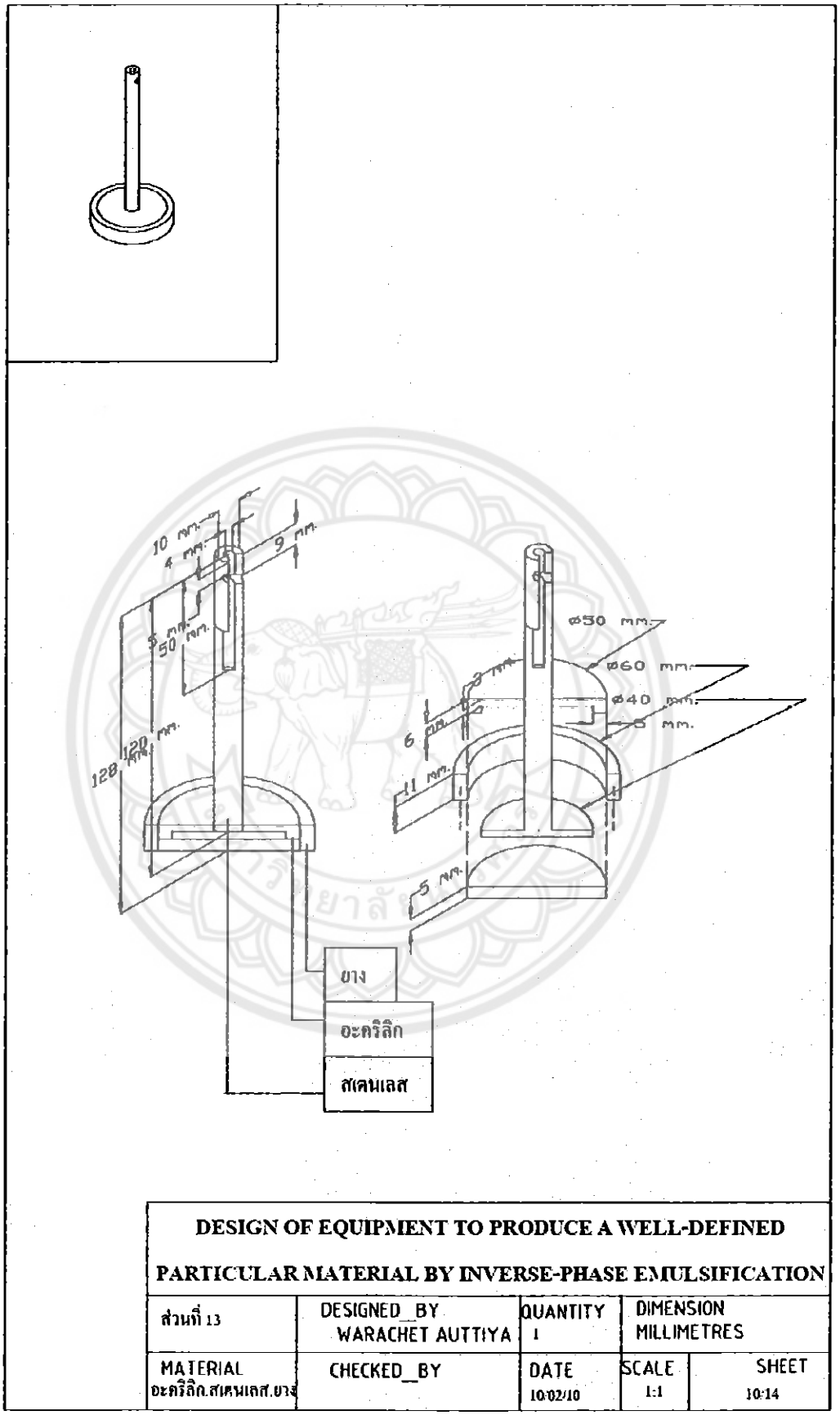
ชิ้นส่วน A ใช้ทั้งหมด 2 ชิ้น

ชิ้นส่วน A ใช้ทั้งหมด 6 ชิ้น

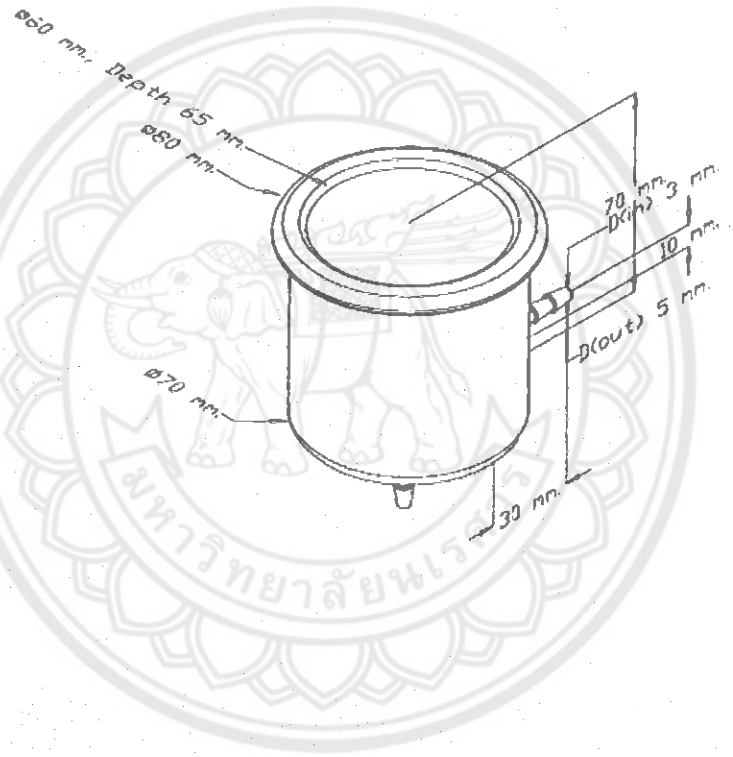
ชิ้นส่วน A ใช้ทั้งหมด 2 ชิ้น

DESIGN OF EQUIPMENT TO PRODUCE A WELL-DEFINED PARTICULAR MATERIAL BY INVERSE-PHASE EMULSIFICATION				
ส่วนที่ 11	DESIGNED_BY WARACHET AUTTHYA	QUANTITY 2,6,2	DIMENSION MILLIMETRES	
MATERIAL สเตนเลส	CHECKED_BY	DATE 10/02/10	SCALE 1:1	SHEET 9/14

รูปที่ ก.9 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 9/14

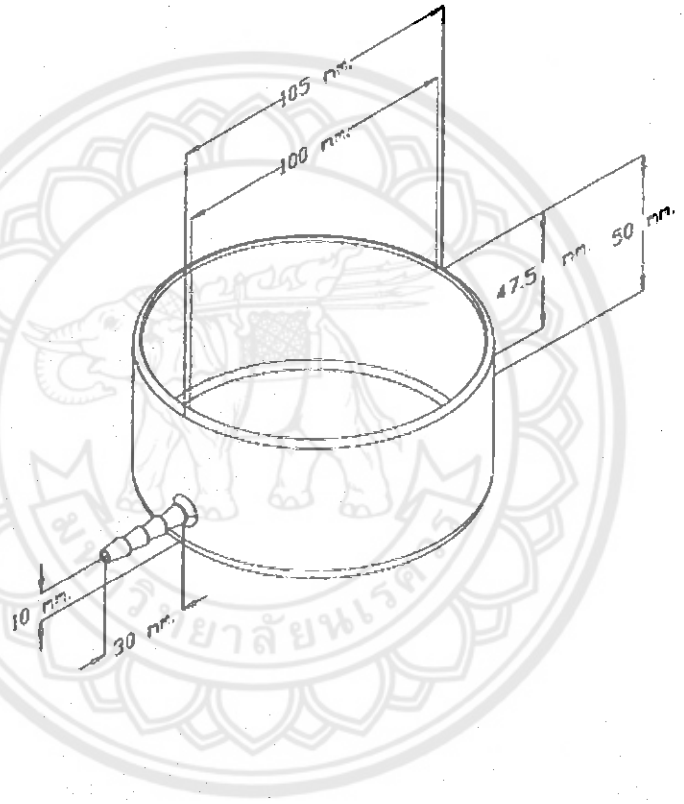


รูปที่ ก.10 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 10/14



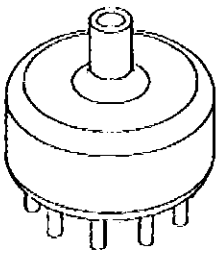
เครื่องแก้ว				
กระบอกฉีด	DESIGNED_BY WARACHET AUTTIYA	QUANTITY 1	DIMENSION MILLIMETRES	
MATERIAL แก้ว	CHECKED_BY	DATE 10/02/10	SCALE 1:1	SHEET 11/14

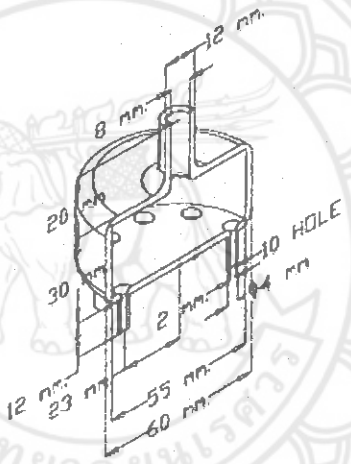
รูปที่ ก.11 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 11/14



เครื่องแก้ว				
ส่วนบรรจุสาร	DESIGNED_BY WARACHET AUTTIYA	QUANTITY 1	DIMENSION MILLIMETRES	
MATERIAL แก้ว	CHECKED_BY	DATE 10/02/1	SCALE 1:1	SHEET 12/14

รูปที่ ก.12 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 12/14

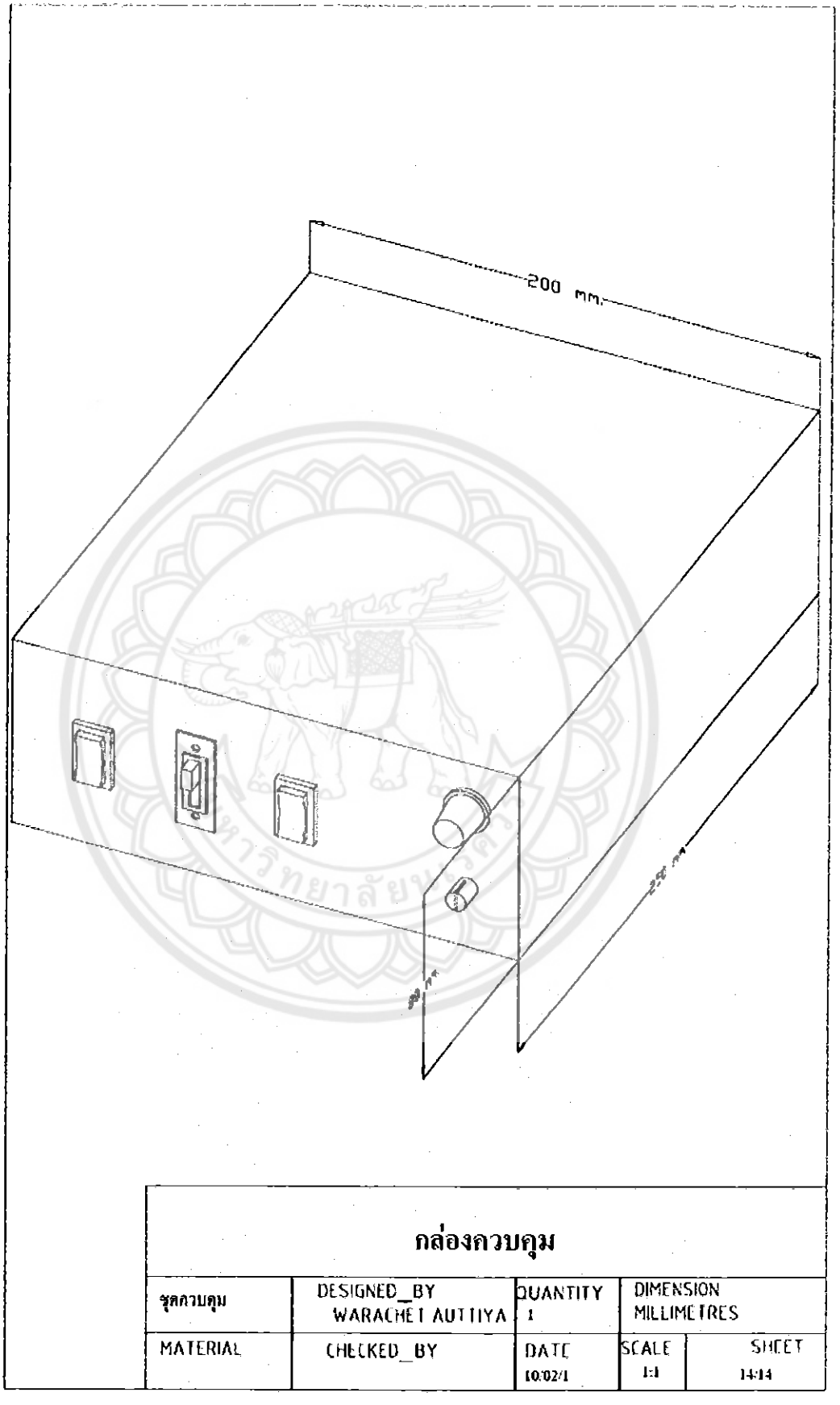




หมายเหตุ: มีจำนวนรูทางออกขนาด 4 มิลลิเมตร จำนวน 10 รู

เครื่องแก้ว				
ส่วนหัวฉีด	DESIGNED_BY WARACHET AUTTIYA	QUANTITY 1	DIMENSION MILLIMETRES	
MATERIAL แก้ว	CHECKED_BY	DATE 10/02/1	SCALE 1:1	SHEET 13/14

รูปที่ ก.13 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 13/14

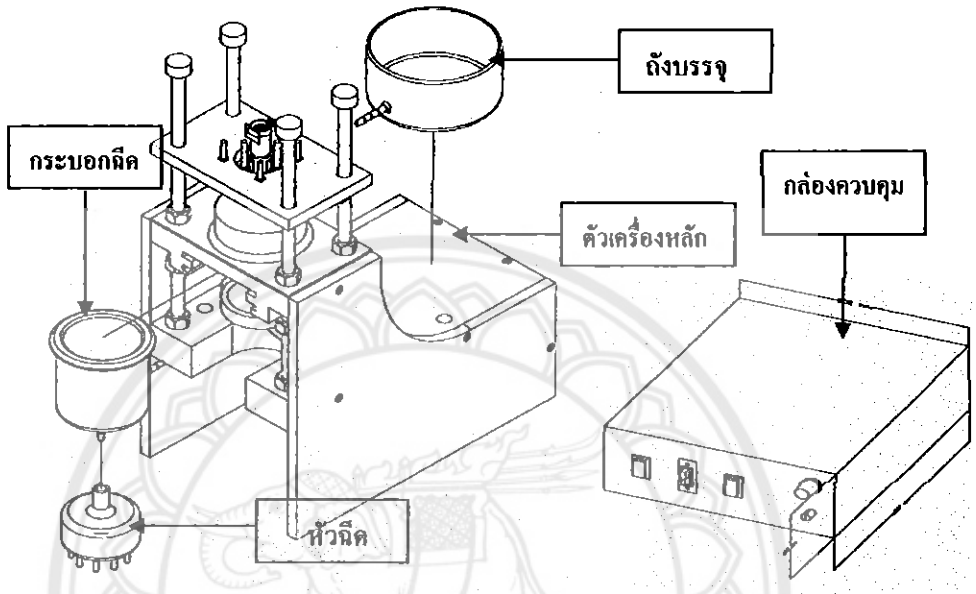


รูปที่ ก.14 แบบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค 14/14

ภาคผนวก ข

การใช้เครื่องมือผลิตวัสดุอนุภาค

ข.1 ส่วนประกอบ



รูปที่ ข.1 ส่วนประกอบเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค

ข.1.1 ตัวเครื่องหลัก

มีหน้าที่รับคำสั่งจากกล่องควบคุมแล้วทำงานตามคำสั่ง ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้นประกอบกัน อีกทั้งยังมีหน้าที่เป็นแท่นติดตั้งเครื่องแก้วที่จะต้องประกอบเข้าด้วยกันอีกด้วย

ข.1.2 เครื่องแก้ว

เป็นชิ้นส่วนที่ต้องสั่งทำเป็นพิเศษเพื่อนำมาประกอบเข้ากับตัวเครื่องหลักโดยเฉพาะ โดยมีทั้งหมด 3 ชิ้นดังนี้

ข.1.2.1 ถังบรรจุ

เป็นส่วนที่ใช้บรรจุสารเพื่อเติมสารให้กระบอกฉีด

ข.1.2.2 กระบอกฉีด

มีหน้าที่จ่ายสารให้กับหัวฉีดเพื่อฉีดสารออกมา

ข.1.2.3 หัวฉีด

ทำการฉีดสารออกจากรูที่ติดเข็มฉีดยาไว้ มีจำนวนทั้งหมด 10 รู

ข.1.3 กล่องควบคุม

มีหน้าที่เชื่อมต่อกับตัวเครื่องหลัก โดยมีการควบคุมตัวเครื่องหลักให้ทำงานตามคำสั่งที่ควบคุมโดยกล่องควบคุมนี้ โดยกล่องควบคุมมีลักษณะดังนี้

รูปที่ ข.2 กล่องควบคุม

ข.2 การติดตั้ง

ข.2.1 นำถังบรรจุและกระบอกฉีดติดตั้งบนตัวเครื่องหลักแล้วเชื่อมต่อถังบรรจุและกระบอกฉีดด้วยท่อเทปลอน โดยมีวาล์วกันกลับเป็นตัวควบคุมทิศทางการไหลไม่ให้มีการไหลย้อน

ข.2.2 นำหัวฉีดที่ติดเข็มฉีดยาตรงปลายทางออก (ต้องบรรจุ RF- Gel ให้เต็มหัวฉีด) ต่อเข้ากับกระบอกฉีดโดยการเชื่อมต่อเหมือนกับการเชื่อมต่อระหว่างถังบรรจุกับกระบอกฉีด

ข.2.3 ต่อกล่องควบคุมกับตัวเครื่องหลักเข้าด้วยกันด้วยปลั๊กที่เสียบเข้าด้วยกัน โดยมีข้อควรระวังคือต้องต่อให้ถูกขั้ว เพราะหากต่อผิดจะทำให้การสั่งงานจากกล่องควบคุมเรื่องทิศทางขึ้นลงสลับกัน จากนั้นเสียบปลั๊กจากกล่องควบคุมเพื่อต่อกับไฟฟ้า 220 VAC เพื่อ แปลงให้เป็น DC และนำไปใช้ในวงจรควบคุมต่อไป

ข.3 การใช้งาน

ข.3.1 เมื่อการติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้วทำการบังคับให้ลูกสูบอยู่ในตำแหล่งล่างสุดของกระบอกฉีด

ข.3.2 แล้วทำการเติม RF-Gel ลงในถังบรรจุ จากนั้นบังคับให้ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นเพื่อดูดสารจากถังบรรจุเข้าสู่กระบอกฉีด

ข.3.2 ปรับความอัตราการไหลจากตัวปรับความเร็วรอบที่ต้องการ จากนั้นบังคับให้ลูกสูบเคลื่อนที่ดันสารออกมาจากปลายเข็ม หากสารหมดกระบอกหรือลูกสูบลงมาถึงตำแหล่งที่ต่ำสุดของกระบอกฉีด ให้หยุดการเคลื่อนที่ของลูกสูบจากสวิตช์เลือกทิศทาง แล้วบังคับให้ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นเพื่อดูดสารอีกครั้ง

ข.3.3 หากสารในถังบรรจุหมดหรือใกล้จะหมดให้เทสารลงไปในถังบรรจุได้เลย

ข.4 ข้อควรระวังและการดูแลรักษา

ข.4.1 หลังจากการใช้งานล้างเครื่องแก้วด้วยอะซิโตน ให้สะอาดโดยทันที เนื่องจาก RF-Gel หากทิ้งไว้นานๆจะทำปฏิกิริยากลายเป็นของแข็ง ทำให้เกิดการอุดตันได้

ข.4.2 ระมัดระวังในการเชื่อมต่อทางไฟฟ้า เพื่อไม่ให้มีการต่อสลับขั้ว

ข.4.3 ห้ามมิให้วงจรหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เปียกน้ำหรือมีความชื้น

ข.4.4 ก่อนการเชื่อมต่อควรตรวจเช็คว่าสวิตช์ในกล่องควบคุมอยู่ในตำแหน่งที่ปิดอยู่หรือไม่ หากเสียบปลั๊กขณะที่สวิตช์เปิดอยู่อาจทำให้เครื่องทำงานโดยทันที และอาจเกิดความเสียหายขึ้นได้

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค.1 ขนาดอนุภาค

ลำดับ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)		
	ตัวอย่างปั่นกวน	ตัวอย่างจากเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค	
		อัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อวินาที	อัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อวินาที
1	0.8	1.9	1.3
2	3.2	2.0	1.6
3	1.0	2.0	1.4
4	1.0	1.8	1.3
5	1.7	1.7	1.5
6	1.0	1.7	1.2
7	1.1	1.6	1.4
8	0.9	1.8	1.4
9	0.8	1.7	1.2
10	1.0	1.9	1.2
11	1.0	1.7	1.0
12	1.2	2.0	1.3
13	1.7	1.9	1.2
14	1.7	1.6	1.2
15	1.0	1.7	1.2
16	1.1	1.8	1.3
17	3.0	1.8	1.1
18	1.1	1.9	1.2
19	0.4	1.6	1.1
20	1.0	1.5	1.3
21	0.6	1.7	1.2
22	2.5	1.9	0.9
23	0.8	1.7	1.1
24	0.9	1.8	1.1
25	1.2	1.8	0.9

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ขนาดอนุภาค

ลำดับ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)		
	ตัวอย่างปั่นกวน	ตัวอย่างจากเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค	
		อัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อวินาที	อัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อวินาที
26	0.4	1.6	1.1
27	3.0	1.8	1.0
28	0.9	1.7	1.0
29	1.2	1.7	1.0
30	0.4	1.8	1.1
31	0.9	1.6	1.3
32	1.6	1.7	1.2
33	1.0	1.7	1.1
34	3.0	2.1	1.2
35	1.1	2.0	1.2
36	1.7	2.0	1.1
37	1.1	2.0	1.1
38	1.0	1.8	1.1
39	0.6	1.8	1.0
40	1.0	1.6	1.4
41	1.1	2.0	1.2
42	1.7	1.5	1.5
43	0.3	1.7	1.1
44	0.9	1.6	1.1
45	0.4	1.6	1.2
46	1.2	1.5	1.2
47	1.0	1.4	1.4
48	1.1	1.5	1.4
49	2.8	1.5	1.2
50	0.2	1.6	1.3

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ขนาดอนุภาค

ลำดับ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)		
	ตัวอย่างปั่นกวน	ตัวอย่างจากเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค	
		อัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อวินาที	อัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อวินาที
51	1.1	1.4	1.3
52	0.3	1.5	1.4
53	0.7	1.6	1.2
54	0.9	1.6	1.4
55	1.2	1.5	1.3
56	0.4	1.9	1.2
57	0.8	1.7	1.2
58	0.7	1.6	1.3
59	0.7	1.7	1.3
60	1.1	1.9	1.2
61	3.0	1.6	1.2
62	0.4	1.4	1.3
63	0.4	1.3	1.3
64	0.1	1.5	1.2
65	1.1	1.6	1.0
66	3.0	1.8	0.9
67	0.4	2.3	1.4
68	0.7	2	1.2
69	0.9	1.9	1.2
70	0.7	1.6	1.3
71	1.2	1.6	1.2
72	2.3	2.1	1.2
73	1.1	1.8	1.5
74	0.7	1.7	1.2
75	0.7	1.8	1.2

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ขนาดอนุภาค

ลำดับ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)		
	ตัวอย่างปั่นกวน	ตัวอย่างจากเครื่องผลิตวัสดุอนุภาค	
		อัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อวินาที	อัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อวินาที
76	0.2	1.9	1.4
77	0.7	1.8	1.4
78	0.4	2.0	1.3
79	0.5	2.2	1.4
80	0.3	1.7	1.2
81	1.8	1.8	1.5
82	1.2	2.3	1.1
83	0.6	2.1	1.2
84	0.5	1.6	1.0
85	0.4	1.8	1.1
86	0.4	2.0	1.2
87	0.6	1.9	1.3
88	0.6	2.0	1.4
89	0.3	2.1	1.3
90	0.4	1.7	1.2
91	0.4	1.7	1.4
92	0.3	1.7	0.9
93	0.3	1.9	1.1
94	0.8	1.3	1.2
95	0.4	1.7	1.0
96	0.4	1.5	1.5
97	3.6	1.5	1.1
98	0.6	2.0	1.5
99	0.7	2.1	1.2
100	0.7	1.8	1.0

ภาคผนวก ง

ง.1 การคำนวณอัตราการไหล

ง.1.1 ข้อมูลจากการทดลอง

ตารางที่ ง. 1 ตารางข้อมูลการคำนวณอัตราการไหล

ความต่างศักดิ์ไฟฟ้า(โวลต์)	เวลา(วินาที)	จำนวนรอบ(รอบ)
12	10	6
24	10	10

ง.1.2 ข้อมูลจากการออกแบบ

ง.1.2.1 ใช้เกลียว 20 ฟันต่อนิ้ว

ง.1.2.2 รัศมีวงในของกระบอกฉีดมีขนาด 30 มิลลิเมตร

ง.1.2.3 มีรูฉีด 10 รู

ง.1.3 วิธีคำนวณ

อัตราการไหลเชิงปริมาตร = $\dot{V} = (\pi R^2 h)/TN$

เมื่อ R = รัศมีวงในของกระบอกฉีด

h = ระยะทางของลูกสูบที่เคลื่อนที่ในการฉีดสาร

T = เวลาในการฉีดสาร

N = จำนวนรูที่ใช้ในการฉีด

จากข้อมูล $R = 30$ มิลลิเมตร

$T = 10$ วินาที

$N = 10$ รู

ง.1.3.1 หาระยะทางของลูกสูบที่เคลื่อนที่ในการฉีดสาร

จาก มอเตอร์หมุน 1 รอบ เกลียวหมุน 1 รอบเท่ากัน

จะได้ h = ระยะห่างของฟันเกลียว × จำนวนรอบที่หมุน

ดังนั้น h ที่ 12 โวลต์ $= [((\frac{1}{20}) \times 25.4] \times 6 = 7.62$ มิลลิเมตร

h ที่ 24 โวลต์ $= [((\frac{1}{20}) \times 25.4] \times 10 = 12.7$ มิลลิเมตร

ง.1.3.2 แทนค่าหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรต่อรู

$$\dot{V}_{12} = (3.14 \times 30^2 \times 7.62)/(10 \times 10)$$

$$= 215.34 \text{ mm}^3/\text{s}$$

$$= 0.22 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_{24} = (3.14 \times 30^2 \times 12.7)/(10 \times 10)$$

$$= 358.9 \text{ mm}^3/\text{s}$$

$$= 0.36 \text{ cm}^3/\text{s}$$

ดังนั้น เมื่อใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ จะได้อัตราการไหลเท่ากับ 0.22 cm^3/s ต่อรู เมื่อใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ จะได้อัตราการไหลเท่ากับ 0.36 cm^3/s ต่อรู

ง.2 การคำนวณสารเคมีและจำนวนวัสดุอนุภาค

ง.2.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้

ในการทดลองใช้สารเคมีเป็น 6 เท่าจากตารางที่ 4.1 ซึ่งสามารถวัดปริมาตรได้ประมาณ 76 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 76,000 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

ง.2.2 จำนวนวัสดุอนุภาค

จากปริมาณสาร 76,000 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ทำการบรรจุลงในกระบอกฉีด 50,000 ลูกบาศก์มิลลิเมตร แล้วทำการสารฉีดออกมาที่อัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที ด้วยปริมาณสาร 800 ลูกบาศก์มิลลิเมตร โดยประมาณ 450 ลูกบาศก์มิลลิเมตรแรกสารถูกฉีดออกมาด้วยอัตราการไหลที่ไม่คงที่ หลังจากฉีดสารในปริมาณดังกล่าวแล้ว ก็เปลี่ยนอัตราการไหลแล้วฉีดสารที่อัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที โดยฉีดออกมาด้วยปริมาณสาร 800 ลูกบาศก์มิลลิเมตรโดยประมาณ 450 ลูกบาศก์มิลลิเมตรแรกสารถูกฉีดออกมาด้วยอัตราการไหลที่ไม่คงที่ หลังจากการฉีดสารดังกล่าวแล้วรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์เกิดการกลายเป็นเจลจึงไม่สามารถฉีดออกมาได้ ดังนั้นวัสดุอนุภาคที่ใช้เก็บเป็นข้อมูลคือ เฉพาะที่ 350 ลูกบาศก์มิลลิเมตรหลังเท่านั้น ซึ่งจำนวนวัสดุอนุภาคสามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดังนี้

ง.2.2.1 ปริมาตรและจำนวนของอนุภาคที่ฉีดด้วยอัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.8 มิลลิเมตร

$$\text{ปริมาตรของอนุภาค} = \frac{4}{3}\pi r^3 = 3.05\,\text{mm}^3$$

$$\text{จำนวนวัสดุอนุภาคต่ำสุด} = \frac{350}{3.05} = 114.75 \approx 114$$

$$\text{จำนวนวัสดุอนุภาคสูงสุด} = \frac{800}{3.05} = 262.29 \approx 262$$

จากการทดลองเนื่องจากจำนวนวัสดุอนุภาคมีจำนวนมากจึงได้เลือกใช้จำนวนวัสดุอนุภาคที่ใช้ในการวิเคราะห์ 100 ตัวอย่าง และจะได้ทำการคำนวณระดับความเชื่อมั่นต่อไป ซึ่งจำนวนวัสดุอนุภาคต่ำสุดคำนวณจากปริมาณสารที่ฉีดออกมาเป็นเม็ดอนุภาคเท่านั้นส่วนจำนวนวัสดุอนุภาคสูงสุดคำนวณจากปริมาณที่ฉีดออกมาทั้งหมด

ง.2.2.2 ปริมาตรและจำนวนของอนุภาคที่ฉีดด้วยอัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.2 มิลลิเมตร

$$\text{ปริมาตรของอนุภาค} = \frac{4}{3}\pi r^3 = 0.9\,\text{mm}^3$$

$$\text{จำนวนวัสดุอนุภาคต่ำสุด} = \frac{350}{0.9} = 388.88 \approx 388$$

$$\text{จำนวนวัสดุอนุภาคสูงสุด} = \frac{800}{0.9} = 888.88 \approx 888$$

จากการทดลองเนื่องจากจำนวนวัสดุอนุภาคมีจำนวนมากจึงได้เลือกใช้จำนวนวัสดุอนุภาคที่ใช้ในการวิเคราะห์ 100 ตัวอย่าง และจะได้ทำการคำนวณระดับความเชื่อมั่นต่อไป ซึ่งจำนวนวัสดุอนุภาคต่ำสุดคำนวณจากปริมาณสารที่ฉีดออกมาเป็นเม็ดอนุภาคเท่านั้นส่วนจำนวนวัสดุอนุภาคสูงสุดคำนวณจากปริมาณที่ฉีดออกมาทั้งหมด

ง.2.2.3 ปริมาตรและจำนวนของอนุภาคที่ผลิตด้วยวิธีปั่นกวน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.0 มิลลิเมตร

เนื่องจากน้ำมันพาราฟินที่ใช้ในการทดลองมีอยู่อย่างจำกัดจึงสามารถใช้รีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ในการปั่นกวนได้เพียง 30,000 ลูกบาศก์มิลลิเมตร เนื่องจากปริมาณรีโซซินอลฟอร์มัลดีไฮด์กับน้ำมันพาราฟินต้องเป็นอัตราส่วนต่อกันดังตารางที่ 3.2 หลังจากการฉีดสารพบว่ามีสารที่ไม่เกิดเป็นเม็ดประมาณร้อยละ 20

$$\text{ปริมาตรของอนุภาค} = \frac{4}{3}\pi r^3 = 0.5\,\text{mm}^3$$

$$\text{จำนวนวัสดุอนุภาคต่ำสุด} = \frac{24,000}{0.5} = 48,000$$

$$\text{จำนวนวัสดุอนุภาคสูงสุด} = \frac{30,000}{0.5} = 60,000$$

จากการทดลองเนื่องจากจำนวนวัสดุอนุภาคมีจำนวนมากจึงได้เลือกใช้จำนวนวัสดุอนุภาคที่ใช้ในการวิเคราะห์ 100 ตัวอย่าง และจะได้ทำการคำนวณระดับความเชื่อมั่นต่อไป ซึ่งจำนวนวัสดุอนุภาคต่ำสุดคำนวณจากปริมาณสารที่ฉีดออกมาเป็นเม็ดอนุภาคเท่านั้นส่วนจำนวนวัสดุอนุภาคสูงสุดคำนวณจากปริมาณที่ฉีดออกมาทั้งหมด

ง.2.3 ระดับความมีนัยสำคัญ

จาก $n = \left(\frac{N}{1 + Nd^2} \right)$

เมื่อ n = ขนาดของหน่วยตัวอย่างกลุ่มเป้าหมาย

N = ประชากรทั้งหมด

d = ระดับความมีนัยสำคัญ

ง.2.3.1 ระดับความมีนัยสำคัญสูงสุด

คำนวณจากปริมาณสารที่ฉีดออกมาและที่เกิดเป็นเม็ดจากการปั่นกวนเท่านั้น

ก. ระดับความมีนัยสำคัญสูงสุดของอนุภาคที่ฉีดด้วยอัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที

$$100 = \left(\frac{114}{1 + 114d^2} \right)$$

$$d = 0.035$$

ดังนั้นระดับนัยสำคัญสูงสุดเท่ากับ 96.5 %

ข. ระดับความมีนัยสำคัญสูงสุดของอนุภาคที่ฉีดด้วยอัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที

$$100 = \left(\frac{388}{1 + 388d^2} \right)$$

$$d = 0.086$$

ดังนั้นระดับนัยสำคัญสูงสุดเท่ากับ 91.4 %

ค. ระดับความมีนัยสำคัญสูงสุดของอนุภาคที่ผลิตด้วยวิธีปั่นกวน

$$100 = \left(\frac{48,000}{1 + 48,000d^2} \right)$$

$$d = 0.100$$

ดังนั้นระดับนัยสำคัญสูงสุดเท่ากับ 90.00 %

ง.2.3.2 ระดับความมีนัยสำคัญต่ำสุด

คำนวณจากปริมาณสารที่ฉีดออกมาและจากการปั่นกวนทั้งหมด

ก. ระดับความมีนัยสำคัญต่ำสุดของอนุภาคที่ฉีดด้วยอัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที

$$100 = \left(\frac{262}{1 + 262d^2} \right)$$

$$d = 0.079$$

ดังนั้นระดับนัยสำคัญต่ำสุดเท่ากับ 92.1 %

ข. ระดับความมีนัยสำคัญต่ำสุดของอนุภาคที่ฉีดด้วยอัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที

$$100 = \left(\frac{888}{1 + 888d^2} \right)$$

$$d = 0.094$$

ดังนั้นระดับนัยสำคัญต่ำสุดเท่ากับ 90.6 %

ค. ระดับความมีนัยสำคัญต่ำสุดของอนุภาคที่ผลิตด้วยวิธีปั่นกวน

$$100 = \left(\frac{20,000}{1 + 20,000d^2} \right)$$

$$d = 0.100$$

ดังนั้นระดับนัยสำคัญต่ำสุดเท่ากับ 90 %

ง.2.3.3 ค่าความเผื่อของระดับความมีนัยสำคัญ

จากค่าสูงสุดและต่ำสุดของระดับความมีนัยสำคัญสามารถนำมาหาค่ากลางและค่าพิกัดความเผื่อได้ดังนี้

ก. ระดับความมีนัยสำคัญของอนุภาคที่ฉีดด้วยอัตราการไหล 0.22 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที

$94^{+2.2}_{-2.2}$ %

ข. ระดับความมีนัยสำคัญของอนุภาคที่ฉีดด้วยอัตราการไหล 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที

$91^{+0.4}_{-0.4}$ %

ค. ระดับความมีนัยสำคัญต่ำสุดของอนุภาคที่ผลิตด้วยวิธีปั่นกวน

90 %