

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์และการตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของ
พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งเพื่อใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอน



นายกิจดิพร สงวนทรัพย์
นายอาทร ลอยสรวงสิน

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

เลขหน้.....

เลขทะเบียน.....37645

วัน, เดือน, ปี 19 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Synthesis and Characterisation of
Graft Copolymer as Flocculant

Mr. Kittiporn Sanguansap

Mr. Arthorn Loisuangsin

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

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์และการตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์ร่วม
แบบตอกึ่งเพื่อใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอน


นักศึกษา นายกิจติพร สงวนทรัพย์
 นายอาทร ลอยสรวงลิน

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล
 ดร.อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ

ภาควิชา เคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม


ปีการศึกษา 2542

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต




(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี




(ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์พิเศษกุล)

ประธานกรรมการ



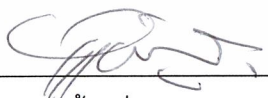
(อาจารย์กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์)

กรรมการ



(รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

กรรมการ



(ดร.อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง เพื่อใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอน		
นักศึกษา	นายกิจติพร	สงวนทรัพย์	39054203
	นายอาทร	ลอยสรวงสิน	39054262
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.อรุณี	คงศักดิ์ไพศาล	
	ดร.อนุชา	เอื้อเพิ่มเกียรติ	
ภาควิชา	เคมี สาขา เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2542		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการสังเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง 2 ชนิด คือ แป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริลิกมอนอเมอร์ และแป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ ด้วยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบโพลีไมเออร์เพื่อนำไปใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอน โดยศึกษาผลของปริมาณสารริเริ่มโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (0.25 0.50 และ 0.75 มิลลิโมล) และแป้งไฮโดรไลซ์ (10 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์) ที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน พบว่าปริมาณสารริเริ่มที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งทั้งสองชนิด คือ 0.25 มิลลิโมล ส่วนการเพิ่มปริมาณแป้งไฮโดรไลซ์ทำให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยานานขึ้น และความสามารถในการละลายน้ำลดลง จากนั้นทดสอบสมบัติการช่วยเร่งการตกตะกอนสารแขวนลอยดินขาวเข้มข้น 0.15 เปอร์เซ็นต์ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีจาร์เทสต์ พบว่าพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งทั้งสองชนิดที่มีปริมาณแป้งไฮโดรไลซ์ 50 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มข้น 2 พีพีเอ็ม โดยใช้ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 75 พีพีเอ็ม จะช่วยตกตะกอนสารแขวนลอยได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อนำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งทั้งสองชนิดมาใช้ผสมกันเป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอนจะไม่ทำให้ค่าประสิทธิภาพการตกตะกอนแตกต่างจากการใช้พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งชนิดใดชนิดหนึ่ง

Special Project Title	Synthesis and Characterisation of Graft copolymer as Flocculant	
Name	Mr. Kittiporn	Sanguansap
	Mr. Arthorn	Loisruangsin
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Arunee	Kongsakphaisal
	Dr. Anucha	Euapermkiat
Department	Chemistry	
Year	1999	

Abstract

Flocculants, acrylic-hydrolysed tapioca starch graft copolymer and acrylamide-hydrolysed tapioca starch graft copolymer, were synthesized by foamed polymerisation. The study parameters of polymerisation were varied as following : amount of $K_2S_2O_8$ initiator 0.25, 0.50 and 0.75 mmol; amount of hydrolysed starch 10, 30, 50 percent by weight of monomers. Then the settling efficiency of 15 percent kaolin suspension using graft copolymers were investigated by jar test method. It was found that the optimum amount of foamed polymerisation initiator as 0.25 mmol for both graft copolymers. The increasing amount of hydrolysed starch decreased reaction time and water-soluble ability. In addition, 2 ppm of both 50 percent starch-contained graft copolymers with 75 ppm of Ca^{2+} ion gave best efficiency to settle kaolin suspension. However the blend of both graft copolymers as flocculant had no significant effect on settling efficiency.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และดร.อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้ตลอดมา ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล และอาจารย์กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ที่ให้ความกรุณามาเป็นคณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษนี้ รวมทั้งช่วยแก้ไขข้อผิดพลาดเพื่อให้รายงานฉบับนี้ถูกต้องยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเคมีทุกท่านที่สั่งสอน อบรม และให้คำปรึกษาตลอด 4 ปีที่ได้ศึกษาอยู่ในสถาบันแห่งนี้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการดำเนินงานด้วย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และขอบคุณรุ่นพี่ ๆ รุ่นน้อง ๆ และเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนในทุก ๆ ด้านตลอดมา

นายกิจติพร สงวนทรัพย์

นายอาทร ลอยสว่างสิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
รายการคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์	4
1.4 ขอบเขตการศึกษา	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 แป้ง	6
2.1.1 แหล่งที่พบแป้ง	6
2.1.2 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง	6
2.1.3 โครงสร้างทางกายภาพของแป้ง	8
2.1.4 ปฏิกิริยาการเกิดเจล	9
2.1.5 การปรับปรุงสมบัติของแป้งโดยใช้กรด	10
2.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้ง	11
2.2.1 ปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันของแป้งกับมอนอเมอร์	11
2.2.2 กระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบโพล	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 สารสร้างตะกอน	16
2.3.1 การตกตะกอน	16
2.3.2 ประเภทของสารสร้างตะกอน	17
2.3.3 กลไกการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนของสารสร้างตะกอนประเภทพอลิเมอร์	22
บทที่ 3 การทดลอง	24
3.1 สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	24
3.1.1 สารเคมี	24
3.1.2 เครื่องมือ	24
3.2 วิธีการทดลอง	25
3.2.1 การเตรียมแป้งไฮโดรไลซ์จากแป้งมันสำปะหลัง	25
3.2.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งของแป้ง	26
3.2.3 การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ของการสังเคราะห์ที่มีผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันและสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน	27
3.2.4 การตรวจสอบพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งที่สังเคราะห์ได้	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	32
4.1 การตรวจสอบแป้งไฮโดรไลซ์ที่เตรียมได้	32
4.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งของแป้งไฮโดรไลซ์	33
4.2.1 การศึกษาผลของปริมาณสารริเริ่มที่มีต่อปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน	33
4.2.2 การศึกษาผลของปริมาณแป้งไฮโดรไลซ์ที่มีต่อปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน	34
4.3 การตรวจสอบการต่อกิ่งได้ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งที่สังเคราะห์ได้	36
4.4 การตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตเมทรี	38
4.5 การหาค่าความหนืดที่แท้จริง	39
4.6 การหาปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบในโครงสร้าง	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 การศึกษาสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน	40
4.7.1 การศึกษาสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่ง	40
4.7.2 การศึกษาสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของเกลือแคลเซียมคลอไรด์	42
4.7.3 การศึกษาสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่ง เมื่อใช้ร่วมกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์	43
4.7.4 การศึกษาผลของปริมาณแป้งไฮโดรไลซ์ที่มีต่อสมบัติช่วยเร่ง การตกตะกอนของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่ง	45
4.7.5 การทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนเมื่อใช้พอลิเมอร์ร่วม แบบตอกิ่งทั้งสองชนิดผสมกัน	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	49
ภาคผนวก ก คุณสมบัติของสารเคมีบางชนิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ	52
ภาคผนวก ข การตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุลของสารมาตรฐานด้วยเทคนิค เจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟี	53
ภาคผนวก ค สเปกตรัมของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งที่สังเคราะห์ได้ที่ตรวจสอบด้วย เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตเมทรี	55
ภาคผนวก ง การตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุลโดยการวัดความหนืด	57
ภาคผนวก จ การหาปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบด้วยการไทเทรต	66
ภาคผนวก ฉ การทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน	70
เอกสารอ้างอิง	80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ปริมาณสารริเริ่มที่ผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบตอ่กิ่งของอะคริลิกมอนอเมอร์	33
4.2 ปริมาณสารริเริ่มที่ผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบตอ่กิ่งของอะคริลลาไมด์มอนอเมอร์	34
4.3 ปริมาณแบ่งไฮโดรไลซ์ที่ผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบตอ่กิ่งของอะคริลิกมอนอเมอร์	35
4.4 ปริมาณแบ่งไฮโดรไลซ์ที่ผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบตอ่กิ่งของอะคริลลาไมด์มอนอเมอร์	35
4.5 ตำแหน่งและลักษณะเฉพาะที่สำคัญซึ่งปรากฏบนสเปกตรัมที่ตรวจสอบได้	38
4.6 ปริมาณแบ่งไฮโดรไลซ์ที่มีผลต่อค่าความหนืดที่แท้จริง	39
4.7 ปริมาณหมู่ไฮเดียมคาร์บอกซิเลตที่มีอยู่ในโครงสร้างของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอ่กิ่งด้วยอะคริลิกมอนอเมอร์	40
ง.1 flow time และผลการคำนวณค่าความหนืดของการทดลองที่ 1	59
ง.2 flow time และผลการคำนวณค่าความหนืดของการทดลองที่ 4	60
ง.3 flow time และผลการคำนวณค่าความหนืดของการทดลองที่ 5	60
ง.4 flow time และผลการคำนวณค่าความหนืดของการทดลองที่ 6	61
ง.5 flow time และผลการคำนวณค่าความหนืดของการทดลองที่ 9	61
ง.6 flow time และผลการคำนวณค่าความหนืดของการทดลองที่ 10	62
ฉ.1 ผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AA	72
ฉ.2 ผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AM	72
ฉ.3 ผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของเกลือแคลเซียมคลอไรด์	73
ฉ.4 ผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AA เมื่อใช้ร่วมกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 25 ppm	73
ฉ.5 ผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AA เมื่อใช้ร่วมกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 75 ppm	74
ฉ.6 ผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AA เมื่อใช้ร่วมกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 150 ppm	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ฉ.7 ผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AM เมื่อใช้ร่วมกับ เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 25 ppm	75
ฉ.8 ผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AM เมื่อใช้ร่วมกับ เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 75 ppm	75
ฉ.9 ผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AM เมื่อใช้ร่วมกับ เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 150 ppm	76
ฉ.10 ผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 30%St-g-AA เมื่อใช้ร่วมกับ เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 75 ppm	76
ฉ.11 ผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 50%St-g-AA เมื่อใช้ร่วมกับ เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 75 ppm	77
ฉ.12 ผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 30%St-g-AM เมื่อใช้ร่วมกับ เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 75 ppm	77
ฉ.13 ผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 50%St-g-AM เมื่อใช้ร่วมกับ เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 75 ppm	78
ฉ.14 ผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 50%St-g-AA + 50%St-g-AM ที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ (ความเข้มข้นรวมกันเท่ากับ 2 ppm) เมื่อใช้ร่วมกับเกลือ แคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 75 ppm	79

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หน่วยแอนไฮโดรกลูโคส	6
2.2 รีโพรตีเกรเดชันของอะไมโลส	7
2.3 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	8
2.4 รูปร่างของเม็ดแป้งมันสำปะหลัง	9
2.5 ลักษณะมอลเตสโครสของเม็ดแป้ง	9
2.6 ค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงของแป้ง	10
2.7 กลไกการริเริ่มปฏิกิริยาของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตบนโมเลกุลของแป้ง	12
2.8 การเกิดปฏิกิริยาความเร่งด้วยตนเอง	15
2.9 ขั้นตอนการตกตะกอนสารแขวนลอย	16
2.10 อนุพันธ์ของไคตินและไคโตแซน	19
2.11 การเตรียมพอลิเอทิลีนออกไซด์	19
2.12 การเตรียมพอลิอะคริลาไมด์	20
2.13 การเตรียมไฮโดรไลซ์พอลิอะคริลาไมด์	20
2.14 การเตรียมอะคริลาไมด์-อะคริลิกโคพอลิเมอร์	20
2.15 การเตรียมโคพอลิเมอร์ของอะคริลาไมด์กับควอเทอร์นารีไนซ์มอนอเมอร์	21
2.16 การเตรียมพอลิอิมิน	21
2.17 กลไกการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนแบบแผ่นประจุ	22
2.18 การจับตัวเป็นกลุ่มก้อนแบบสะพานเชื่อม	23
3.1 อุบลโลยีด์ วิสโคมิเตอร์	31
3.2 การทดสอบการตกตะกอนด้วยอุปกรณ์จาร์เทสต์	31
4.1 โครมาโตแกรมของแป้งมันสำปะหลังและแป้งไฮโดรไลซ์	32
4.2 โครมาโตแกรมของแป้งไฮโดรไลซ์ 10%St-g-AA และ 10%St-g-AM	37
4.3 ประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AA และ 10%St-g-AM	41
4.4 ประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนของเกลือแคลเซียมคลอไรด์	42
4.5 ประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AA เมื่อใช้ร่วมกับ แคลเซียมไอออนที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ	43

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 ประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AM เมื่อใช้ร่วมกับ แคลเซียมไอออนที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ	44
4.7 ประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนของ St-g-AA ที่มีปริมาณแป้ง ไฮโดรไลซ์ต่าง ๆ	45
4.8 ประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนของ St-g-AM ที่มีปริมาณแป้ง ไฮโดรไลซ์ต่าง ๆ	46
4.9 ประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนเมื่อใช้ 50%St-g-AA ผสมกับ 50%St-g-AM ในอัตราส่วนต่าง ๆ	47
ข.1 โคโรมาโตแกรมของสารมาตรฐาน	54
ข.2 กราฟมาตรฐาน (calibration curve)	54
ค.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งของแป้งไฮโดรไลซ์กับ อะคริลิกมอนอเมอร์	55
ค.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งของแป้งไฮโดรไลซ์กับ อะคริลามิเดียมอนอเมอร์	56
ง.1 การไหลของของเหลวในท่อทรงกระบอก	57
ง.2 กราฟการหาค่าความหนืดที่แท้จริงของการทดลองที่ 1	62
ง.3 กราฟการหาค่าความหนืดที่แท้จริงของการทดลองที่ 4	63
ง.4 กราฟการหาค่าความหนืดที่แท้จริงของการทดลองที่ 5	63
ง.5 กราฟการหาค่าความหนืดที่แท้จริงของการทดลองที่ 6	64
ง.6 กราฟการหาค่าความหนืดที่แท้จริงของการทดลองที่ 9	64
ง.7 กราฟการหาค่าความหนืดที่แท้จริงของการทดลองที่ 10	65
จ.1 กราฟการไทเทรตด้วยวิธีวัดค่าการนำไฟฟ้าของการทดลองที่ 1	67
จ.2 กราฟการไทเทรตด้วยวิธีวัดค่าการนำไฟฟ้าของการทดลองที่ 4	68
จ.3 กราฟการไทเทรตด้วยวิธีวัดค่าการนำไฟฟ้าของการทดลองที่ 5	69
ฉ.1 ผลของความยาวคลื่นที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารแขวนลอยดินขาว	70
ฉ.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารแขวนลอยดินขาวกับค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 450 nm	71

๓.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (ที่ความยาวคลื่น 450 nm) กับค่าความขุ่น

71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อ

คำย่อ	ความหมาย
Na.EDTA	disodium ethylenediaminetetraacetate
St-g-AA	พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งของแป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริลิกมอนอเมอร์
St-g-AM	พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งของแป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริลามิเดียมอนอเมอร์
ppm	ความเข้มข้นส่วนใน 1,000,000 ส่วน
mol	โมล
mmol	มิลลิโมล
C	ความเข้มข้น
μ l	ไมโครลิตร
ml/minute	มิลลิลิตรต่อนาที
g	กรัม
s	วินาที
$^{\circ}$ C	องศาเซลเซียส
%	เปอร์เซ็นต์
nm	นาโนเมตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจทำให้มีการขยายตัวของชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ก็มีปริมาณมากเช่นกัน การบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญ เพื่อป้องกันมิให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ สิ่งเจือปนอย่างหนึ่งในน้ำเสียที่ต้องทำการกำจัดออกคือสารแขวนลอย เพราะสารแขวนลอยทำให้น้ำนั้นมีลักษณะขุ่นมัว การลดลงของปริมาณแสงที่ผ่านลงไปจึงมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำและการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ รวมทั้งสารแขวนลอยเหล่านี้ส่วนหนึ่งสามารถเป็นอาหารของจุลินทรีย์ ซึ่งส่งผลให้น้ำมีกลิ่นเหม็นและเน่าเสียได้ในที่สุด

สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดสารแขวนลอยมีอยู่หลายชนิด พอลิเมอร์สังเคราะห์ที่สามารถละลายน้ำได้เป็นประเภทหนึ่งที่มีการนำมาใช้เรียกว่าสารช่วยเร่งการตกตะกอน เนื่องจากเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้สารแขวนลอยในน้ำมีการรวมกลุ่มกันแล้วตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่มีผลต่อสภาพความเป็นกรดด่างของน้ำเสียหลังการบำบัด รวมทั้งยังลดปัญหาในการกำจัดกากตะกอนที่เกิดขึ้นจึงจัดเป็นข้อได้เปรียบกว่าการใช้สารส้ม โดยมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับสารช่วยเร่งการตกตะกอนประเภทพอลิเมอร์อย่างต่อเนื่อง ในช่วงแรกเป็นประเภทไฮโมพอลิเมอร์ เช่น พอลิอะคริลาไมด์ (polyacrylamide) และพอลิเอทิลีนออกไซด์ [poly(ethylene oxide)] เป็นต้น ต่อมาภายหลังจึงมีการพัฒนาเป็นประเภทพอลิเมอร์ร่วมเช่นพอลิเมอร์ร่วมระหว่างอะคริลิกกับอะคริลาไมด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน อย่างไรก็ตามก็มีข้อจำกัดในการควบคุมอัตราส่วนระหว่างปริมาณมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดบนสายโซ่พอลิเมอร์ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำสารเหลือใช้ในธรรมชาติซึ่งเป็นสารที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งด้วย

เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นผลผลิตที่ผลิตได้มากในประเทศไทยแต่มีปัญหาในเรื่องของแป้งมันสำปะหลังล้นตลาดส่งผลให้มีราคาตกต่ำมาก โครงการพิเศษจึงนี้เป็นการนำสารเหลือใช้คือแป้งมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจด้วย

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่ง 2 ชนิด คือแป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริลิกมอนอเมอร์ และแป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ ด้วยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบโพน เพื่อนำมาใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอนในน้ำเสียตัวอย่างที่เตรียมจากสารแขวนลอยดินขาว (kaolin suspension) การศึกษาได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 1 การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ของการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งของแป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริลิกมอนอเมอร์ ได้แก่ ปริมาณสารริเริ่ม และปริมาณของแป้งไฮโดรไลซ์ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมโรเซชันและสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน

ส่วนที่ 2 การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ของการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งของแป้งไฮโดรไลซ์กับอะครีลาไมด์มอนอเมอร์ ได้แก่ ปริมาณสารริเริ่ม และปริมาณของแป้งไฮโดรไลซ์ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมโรเซชันและสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน

ส่วนที่ 3 การศึกษาการใช้ร่วมกันของพอลิเมอร์ร่วมทั้งสองชนิดที่สังเคราะห์ได้ใน 2 ส่วนแรกที่มีผลต่อสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กมล วัชฉลนะญาณ และสามารถ กนกพิทยานนท์ [1] ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งของแป้งกับอะคริลิก-อะครีลาไมด์มอนอเมอร์ ด้วยกระบวนการพอลิเมโรเซชันแบบโฟม เช่นอัตราส่วนของมอนอเมอร์ที่มีต่อคุณลักษณะต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งของแป้ง พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของอะครีลาไมด์ให้มากขึ้น ปฏิกิริยาพอลิเมโรเซชันจะเกิดช้าลง แต่น้ำหนักโมเลกุลมีค่าสูงขึ้น ส่วนค่าการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งแล้วลดลง

ปิยดา เจริญศิริสมบุรณ์ และเกรียงศักดิ์ รุกขจันทรวงศ์ [2] ได้สังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งของแป้งกับพอลิไซเตียมอะคริเลต-ควอเทอร์นารีแคทไอออนิกอะครีลาไมด์ ด้วยกระบวนการพอลิเมโรเซชันแบบโฟม เพื่อนำมาใช้ในการตกตะกอนเยื่อกระดาษจากน้ำเสีย พบว่าแป้งไฮโดรไลซ์จากแป้งมันสำปะหลังสามารถเกิดปฏิกิริยาการต่อกิ่งได้ดี และความสามารถในการตกตะกอนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณประจุบวกของควอเทอร์นารีแคทไอออนิกอะครีลาไมด์จนถึงค่าหนึ่งแล้วจะลดลง โดยผู้ทำการวิจัยได้อธิบายว่าปริมาณประจุบวกที่มากขึ้นทำให้มีโอกาสดึงดูดกับประจุลบของอะคริเลตเพิ่มขึ้น ทำให้สายโซ่ดูดซับกับเยื่อในน้ำเสียน้อยลง

Charles L. McCormick และLee Soon Park [4] ได้ทดลองสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของเด็กซ์ทรานแบบต่อกิ่งด้วยพอลิอะครีลาไมด์ที่สภาวะต่าง ๆ มาทำการเปรียบเทียบ พบว่าพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากัน แต่ความยาวและจำนวนกิ่งแตกต่างกันส่งผลต่อความหนืดและปริมาตรไฮโดรไดนามิกส์ต่างกัน โดยผู้ทำการวิจัยไม่ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับปริมาตรไฮโดรไดนามิกส์ และความแตกต่างของจำนวน และความยาวของกิ่งพอลิเมอร์เพิ่มเติม

O.L. Crees E. Sengles และE. Whyman [5] ได้ทำการทดลองตกตะกอนสารแขวนลอยของกากน้ำตาลจากโรงงานผลิตน้ำตาลต่าง ๆ ในรัฐควีนส์แลนด์ด้วยอะครีลาไมด์-ไซเตียมอะคริเลตโคพอลิเมอร์ โดยนำพอลิเมอร์ไปตกตะกอนสารแขวนลอยของกากน้ำตาลที่ผ่านการปรับความเป็นกรดต่าง

(pH) ด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์แล้ว พบว่าการดูดซับพอลิเมอร์บนอนุภาคสารแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นจึงคาดว่า การดูดซับเกิดผ่านหมู่ไฮดรอกซิลโดยมีแคลเซียมไอออนเป็นสะพานเชื่อมระหว่างประจุบนผิวอนุภาคกับประจุของหมู่ไฮดรอกซิล

M.I. Khalil S. Farag และ S. Abd Ei Fattach [6] ได้ทดลองทำการไฮโดรไลซ์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งแบบตอ กิ่งด้วยอะคริลาไมด์ในสภาวะต่างด้วยไฮดรอกไซด์ และในสภาวะกรดด้วยกรดชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กรดฟอสฟอริก กรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟูริก พบว่าการไฮโดรไลซ์ในสภาวะต่างในช่วงความเข้มข้นไม่เกิน 1 โมลาร์ปริมาณหมู่เอไมด์ลดลงเท่ากับจำนวนหมู่คาร์บอกซิลที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่การไฮโดรไลซ์ในสภาวะกรดไม่มีผลกระทบต่อหมู่เอไมด์ แต่เกิดการย่อยสายโซ่หลักคือแป้งให้สั้นลง นอกจากนี้ผู้ทำการวิจัยยังได้นำพอลิเมอร์ร่วมแบบตอ กิ่งที่ถูกไฮโดรไลซ์ในสภาวะต่างนี้มาทดสอบการดูดกลืนไอออนโลหะหนัก พบว่าประสิทธิภาพในการดูดกลืนไอออนโลหะหนักขึ้นกับหมู่ที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนไอออนบวกกับไอออนโลหะหนักในสารละลาย หรือหมู่คาร์บอกซิล ความสามารถของโลหะหนักในการเกิดพันธะโคเวเลนต์กับหมู่คาร์บอกซิล ศักย์ของโลหะไอออน (Ion potential) และชนิดของคู่ไอออนของโลหะหนักซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับค่าการแตกตัวของโลหะไอออน

Wu-Chung Chan และ Chen-Yen Chang [7] ได้ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการช่วยเร่งการตกตะกอนสารแขวนลอยดินเหนียวด้วยพอลิเมอร์ร่วมตอ กิ่งด้วยอะคริลาไมด์-ไฮดรอกซิลลิคัลไฟเนตของแป้งละลายน้ำ และแป้งไม่ละลายน้ำ (insoluble crosslink starch) โดยวัดประสิทธิภาพในการตกตะกอนด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารแขวนลอยในช่วงเวลาต่าง ๆ พบว่าพอลิเมอร์ร่วมตอ กิ่งของแป้งไม่ละลายน้ำมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนสารแขวนลอยดีกว่า โดยผู้ทำการวิจัยอธิบายว่า เนื่องจากพอลิเมอร์ร่วมแบบตอ กิ่งของแป้งไม่ละลายน้ำมีความหนาแน่นมากกว่า ดังนั้นเมื่อตะกอนเกิดจับเป็นก้อนจึงมีน้ำหนักสูงสามารถตกตะกอนได้เร็ว

S.K. Rath และ R.P. Singh [8] ได้สังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบตอ กิ่งของแป้ง อะไมโลส และอะไมโลเพคตินในสภาวะเดียวกัน แล้วทดลองตกตะกอนสารแขวนลอยดินขาว (kaolin suspension) พบว่าพอลิเมอร์ร่วมตอ กิ่งของอะไมโลเพคตินมีความสามารถในการตกตะกอนดีที่สุด จากนั้นจึงสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบตอ กิ่งของอะไมโลเพคตินที่สภาวะต่าง ๆ พบว่าพอลิเมอร์ร่วมแบบตอ กิ่งที่มีจำนวนกิ่งน้อยแต่กิ่งมีความยาวมากให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนดีกว่าพอลิเมอร์ร่วมแบบตอ กิ่งที่มีจำนวนกิ่งมากแต่กิ่งสั้น

1.3 วัตถุประสงค์

1. สังเคราะห์ และตรวจสอบสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งของแป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริลิกมอนอเมอร์ และแป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริลิไมด์มอนอเมอร์เพื่อนำไปใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอน
2. ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ของการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งที่มีผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน
3. ศึกษาการนำพอลิเมอร์ร่วมทั้งสองชนิดไปใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอนร่วมกัน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. การเตรียมแป้งไฮโดรไลซ์จากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้กรด
2. การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งของแป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริลิกมอนอเมอร์ และแป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริลิไมด์มอนอเมอร์ โดยใช้กระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบโฟม
3. การตรวจสอบสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งที่สังเคราะห์ได้ ได้แก่
 - การหาเปอร์เซ็นต์มอนอเมอร์ที่เปลี่ยนไป (% monomer conversion)
 - การหาปริมาณน้ำที่เหลือจากปฏิกิริยา (% water content)
 - การตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟี (gel permeation chromatography)
 - การตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตเมทรี
 - การหาปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบในโครงสร้าง (สำหรับพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งของแป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริลิกมอนอเมอร์)
 - การหาค่าความหนืดที่แท้จริง (intrinsic viscosity) โดยใช้เครื่องอุบเบลโลฮด์วิสโคมิเตอร์ (ubbelohde viscometer)
 - การทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนโดยใช้สารแขวนลอยดินขาว (kaolin suspension) แทนน้ำเสียตัวอย่าง
4. การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ของการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่ง ได้แก่ ปริมาณตัวริเริ่มและปริมาณของแป้งไฮโดรไลซ์ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน
5. การศึกษาการนำพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งทั้งสองชนิดที่สังเคราะห์ได้มาใช้ร่วมกันเพื่อช่วยเร่งการตกตะกอนสารแขวนลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการเพิ่มมูลค่าแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและราคาตกต่ำในปัจจุบัน
2. เป็นการพัฒนาเพื่อขยายปริมาณผลผลิตไปสู่ระดับอุตสาหกรรมในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

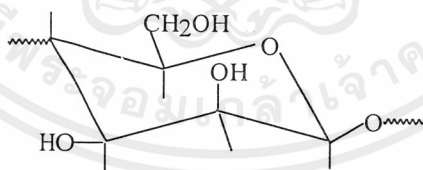
2.1 แป้ง [9]

2.1.1 แหล่งที่พบแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พบในพืชโดยสะสมอยู่ในรูปของเม็ดแป้ง แม้ว่าแป้งจะสามารถถูกพบได้ในพืชทุกชนิด แต่มีพืชเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่สามารถนำมาผลิตแป้งในเชิงการค้าได้ พืชที่เป็นแหล่งให้แป้งจะแตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาคซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศเช่น ข้าวโพดเป็นแหล่งที่ให้แป้งที่สำคัญในการผลิตแป้งในประเทศสหรัฐอเมริกา มันฝรั่งและข้าวสาลีเป็นแหล่งผลิตแป้งสำคัญของประเทศแถบยุโรป ขณะที่ประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลัง (*Manihot utilissima*) เป็นจำนวนมากบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งจัดเป็นแหล่งผลิตแป้งมันสำปะหลังที่สำคัญแหล่งหนึ่งในโลก

2.1.2 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง

แป้งเป็นสารผสมของพอลิแซ็กคาไรด์ 2 ชนิดคือ อะไมโลสประมาณ 15-25% และอะไมโลเพคตินประมาณ 75-85% โดยพอลิแซ็กคาไรด์ประกอบขึ้นจากหน่วยย่อยที่เรียกว่าหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose unit, AGU) ดังแสดงในรูปที่ 2.1

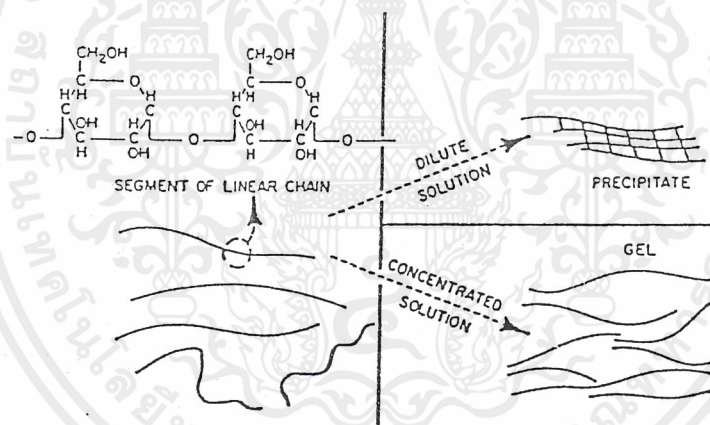


รูปที่ 2.1 แสดงหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (1 AGU มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 162).

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะอัลฟา-ดี-1,4-กลูโคไซด์ (α -D-1,4-glucosidic bond) ขนาดโมเลกุลโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 200-2000 หน่วยของแอนไฮโดรกลูโคส หรือคิดเป็นน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 40,000-650,000 และที่ตำแหน่งปลายสุดของโมเลกุลอะไมโลสสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

- ก. ปลายที่มีหมู่ที่สามารถถูกรีดิวซ์ได้ โดยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสที่ปลายนี้ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลปฐมภูมิ 1 หมู่ หมู่ไฮดรอกซิลทุติยภูมิ 2 หมู่ และหมู่อัลดีไฮด์ซึ่งถูกรีดิวซ์ได้ 1 หมู่
- ข. ปลายที่ไม่มีหมู่ที่สามารถถูกรีดิวซ์ได้ โดยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสที่ปลายนี้ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลปฐมภูมิ 1 หมู่ และหมู่ไฮดรอกซิลทุติยภูมิ 3 หมู่

เนื่องจากอะไมโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลมากมายในโมเลกุลจึงทำให้อะไมโลสแสดงสมบัติชอบน้ำ เช่นการดูดความชื้น การกระจายตัวในน้ำ อย่างไรก็ตามลักษณะเชิงเส้นของอะไมโลสที่มีแนวโน้มที่เรียงตัวชิดกันเองแล้วเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นส่งผลให้การละลายของอะไมโลสกับน้ำลดลง เกิดเป็นสารละลายขุ่น ๆ ในสารละลายเจือจางการจัดเรียงตัวขนานกันทั้งโมเลกุลทำได้ง่ายจึงสามารถเกิดการรวมตัวกันตกตะกอนได้ ในขณะที่สารละลายเข้มข้นการจัดเรียงตัวขนานกันของโมเลกุลทำได้ยาก เพราะเกิดความเกะกะจึงทำให้มีการเรียงตัวขนานกันได้เพียงบางส่วนแล้วเกิดเป็นโครงสร้างสามมิติ ทำให้อะไมโลสมีสภาพเป็นเจลและสามารถนำมาทำเป็นแผ่นฟิล์มที่แข็งแรงได้ ปรากฏการณ์รวมตัวของสายโซ่อะไมโลสโดยทั่วไปเรียกว่ารีโทรดีเกรเดชัน (retrodegradation) ดังรูปที่ 2.2

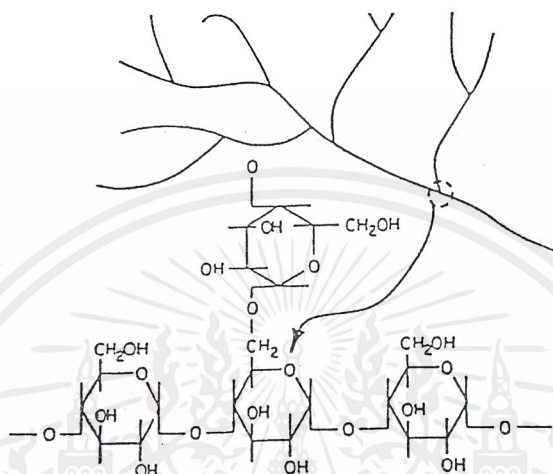


รูปที่ 2.2 แสดงรีโทรดีเกรเดชันของอะไมโลส

นอกจากนี้โมเลกุลของอะไมโลสยังสามารถเกิดปฏิกิริยากับไอโอดีนกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ให้สีน้ำเงินเข้ม และทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่มีทั้งส่วนที่ชอบและไม่ชอบน้ำเช่น บิวทานอล และกรดไขมัน จึงเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลสในแป้งได้

อะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์ของแอนไฮโดรกลูโคสที่มีลักษณะเป็นกิ่งก้านสาขา มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 3×10^6 โดยมีสายโซ่หลักต่อกันด้วยพันธะอัลฟา-ดี-1,4-กลูโคไซด์ และมีกิ่งที่ต่อกับสายโซ่หลักด้วยพันธะอัลฟา-ดี-1,6-กลูโคไซด์ (α -D-1,6-glycosidic bond) ซึ่งกิ่งสาขาเหล่านี้

จะประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส 20-30 หน่วย ดังรูปที่ 2.3 เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสและมีกิ่งสาขา จึงเป็นการลดความสามารถในการเคลื่อนไหว และรบกวนการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ทำให้สารละลายอะไมโลเพคตินมีลักษณะใส ไม่เป็นเจล ไม่สามารถทำเป็นแผ่นฟิล์มและไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ให้สีน้ำเงินเข้มได้เช่นเดียวกับอะไมโลส



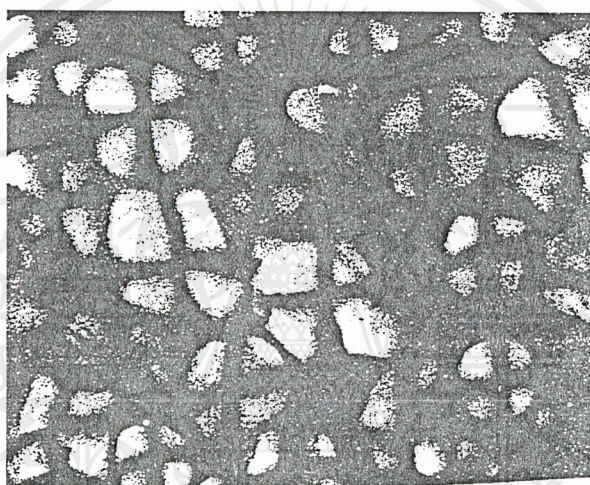
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพคติน

2.1.3 โครงสร้างทางกายภาพของแป้ง

เม็ดแป้งมีลักษณะสีขาว มีขนาดเล็ก ไม่ละลายในน้ำเย็น ปกติมีโปรตีน ไขมัน และเกลือแร่ อนินทรีย์ผสมอยู่ระดับหนึ่ง สำหรับขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งจะแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลังมีขนาดเม็ดตั้งแต่ 5-35 ไมโครเมตร รูปร่างมีลักษณะเป็นรูปไข่ตัดปลายข้างหนึ่งที่ผิวมีบริเวณที่ตัดเข้าข้างใน ส่วนใหญ่มีรอยบุ๋มและมีวงแหวนบนเม็ดแป้งอย่างชัดเจนดังรูปที่ 2.4 อย่างไรก็ตามเม็ดแป้งทุกชนิดมีการจัดตัวของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินอยู่ในเม็ดแป้งตามแนวรัศมี และในตำแหน่งที่มีการจัดเรียงตัวขนานกันจะทำให้เกิดผลึกแบบไมเซลล์ ซึ่งมีผลทำให้เกิดสมบัติไบรฟริงเจนส์ (birefringence) หรือค่าดัชนีการหักเหของแสง (refractive index) ใน 2 ทิศทางไม่เท่ากัน แล้วแสดงลักษณะของมอลเตสครอส (maltese cross) เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงโพลาไรซ์ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 แสดงรูปร่างของเม็ดแบ่งมันสำปะหลัง

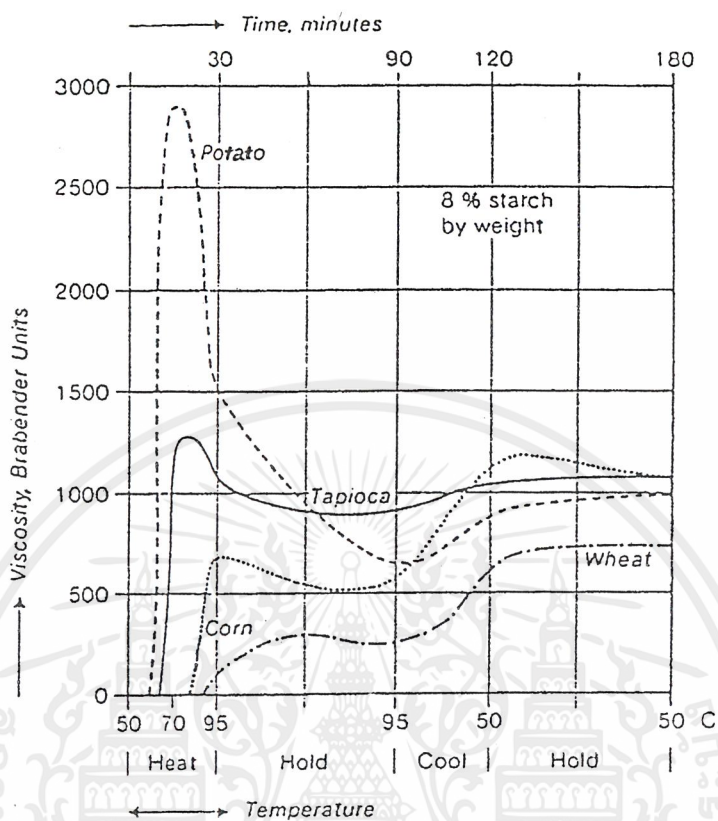


รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะมอลเตสครอสของเม็ดแบ่ง

2.1.4 ปฏิกิริยาการเกิดเจล

เมื่อเม็ดแบ่งที่อยู่ในน้ำได้รับความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤต (อุณหภูมินี้แตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง) ทำให้พันธะไฮโดรเจนอ่อนลง โมเลกุลของน้ำจึงสามารถเข้าไปแทรกในส่วนที่เป็นเชิงเส้นของอะไมโลเพคติกได้ส่งผลให้โมเลกุลของแป้งเริ่มก่อรูปเป็นเกลียว แป้งจึงสามารถดูดน้ำและบวมตัวได้หลายเท่า ในระหว่างการก่อรูปเป็นเกลียวนี้สารแขวนลอยแป้งจะมีลักษณะใสขึ้น และมีความหนืดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่าหนึ่งซึ่งเป็นจุดที่แป้งดูดน้ำได้มากที่สุด จุดนี้เป็นจุดที่เกิดปรากฏการณ์การเกิดเจล ถ้าหากยังให้ความร้อนต่อไปอีกเม็ดแบ่งจะแตกออกทำให้ความหนืดลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.6 อุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแบ่งสูญเสียคุณสมบัติโปรพิงเจนท์ 98% เรียกว่าจุดสุดท้ายของการเกิดเจล

(gelatinization end point) และหากนำเจลที่ได้มาลดอุณหภูมิ ความใสจะลดลงแต่ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดรีโทรเกรดชัน



รูปที่ 2.6 แสดงค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงของแป้ง

2.1.5 การปรับปรุงสมบัติของแป้งโดยใช้กรด

การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งสามารถทำได้โดยใช้การไฮโดรไลซ์เม็ดแป้งด้วยกรดที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจล ปฏิกริยาไฮโดรไลสิสสามารถติดตามได้จากค่าความหนืดในระหว่างปฏิกริยา และการหยุดปฏิกริยาทำได้โดยการทำให้สารละลายเป็นกลางเมื่อถึงค่าความหนืดที่ต้องการ อัตราเร็วของปฏิกริยาการไฮโดรไลสิสขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกริยา

เมื่อตรวจสอบแป้งไฮโดรไลซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงโพลาไรซ์ที่อุณหภูมิห้องไม่พบความแตกต่างจากเม็ดแป้งที่ยังไม่ปรับปรุงคือยังคงมีสมบัติไบร์ฟริงเจนต์ สันนิษฐานว่าเกิดจากกรดเข้าทำปฏิกริยากับเม็ดแป้งในส่วนอสัณฐานได้รวดเร็วกว่าส่วนที่เป็นผลึก ทำให้อะไมโลเพคตินในเม็ดแป้งถูกย่อยสลายได้เร็วและปริมาณมากกว่าอะไมโลส แต่เมื่อแป้งไฮโดรไลซ์อยู่ในน้ำร้อนจะแสดงพฤติกรรมที่

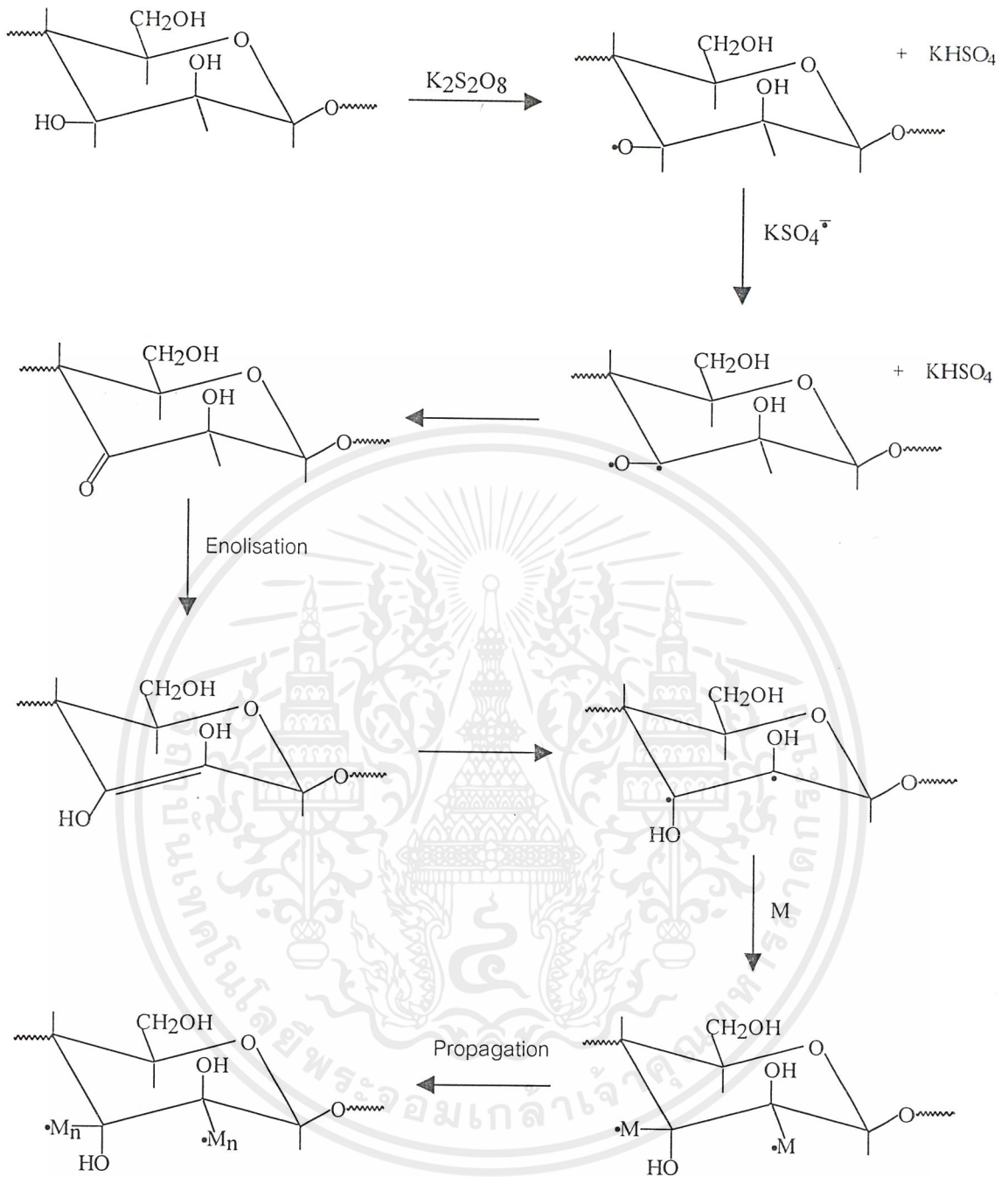
ต่างไปคือไม่เกิดการบวมขึ้นหลายเท่าเหมือนเม็ดแป้งที่ยังไม่ปรับปรุง โดยจะเกิดการแตกเป็นส่วน (fragment) ในแนวรัศมี

2.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งของแป้ง

2.2.1 ปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันของแป้งกับมอนอเมอร์

พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อสามารถเตรียมได้โดยทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนแป้ง ซึ่งอนุมูลอิสระบนแป้งนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวริเริ่มในการเกิดปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันของไวนิลมอนอเมอร์ สำหรับอนุมูลอิสระบนแป้งอาจเตรียมได้ 2 วิธีคือ

- ก. การกระตุ้นทางกายภาพ เช่นการใช้รังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 หรือลำอิเล็กตรอนซึ่งเป็นรังสีที่มีพลังงานสูงพอที่จะสลายพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนแล้วเกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้น
- ข. การกระตุ้นทางเคมี เป็นการทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนโมเลกุลของแป้งโดยใช้ตัวริเริ่ม เช่น สารประกอบประเภทเอโซ หรือเปอร์ออกไซด์เป็นต้น ตัวริเริ่มเหล่านี้จะมีพันธะที่สามารถแตกจากกันแล้วเกิดเป็นอนุมูลอิสระ โดยการเลือกใช้ตัวริเริ่มขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้ทำปฏิกริยา กลไกการริเริ่มปฏิกริยาของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตบนโมเลกุลของแป้งแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงกลไกการริเริ่มปฏิกิริยาของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตบนโมเลกุลของแป้ง
 หมายเหตุ M คือมอนอเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 กระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบโฟม (foamed polymerisation process)

Zhang และผู้ร่วมงาน [10] ได้สังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อโดยใช้เทคนิคใหม่เรียกว่า กระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบโฟม ซึ่งเป็นกระบวนการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกสังเคราะห์ขึ้นภายในระบบทำให้พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นโฟมคือมีรูพรุนกระจายทั่วเนื้อสาร ปฏิกริยาสามารถเกิดได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นปฏิกิริยาแบบความเร่งด้วยตัวเอง (auto-acceleration) ปริมาณมอนอเมอร์ที่เปลี่ยนไปจึงสูงเกือบ 100% และความร้อนที่เกิดขึ้นยังช่วยทำให้มีน้ำเหลืออยู่ในระบบน้อยอีกด้วย

2.2.2.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบโฟม

1) มอนอเมอร์ มีคุณสมบัติละลายน้ำ อาจใช้มอนอเมอร์ชนิดเดียวหรือมอนอเมอร์ผสมก็ได้ โดยทั่วไปสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้ 2 ประเภทคือ

ก. นอนไอออนิกมอนอเมอร์ (non-ionic monomer) คือมอนอเมอร์ที่ไม่มีพันธะในโมเลกุลที่แตกตัวออกได้ง่าย ตัวอย่างเช่น อะคริลาไมด์ และไวนิลไพโรลิดีน เป็นต้น

ข. ไอออนิกมอนอเมอร์ (ionic-monomer) คือมอนอเมอร์ที่มีพันธะในโมเลกุลที่แตกตัวได้ง่าย สามารถแบ่งมอนอเมอร์กลุ่มนี้ออกเป็น 2 ชนิดคือ

- แอนไอออนิกมอนอเมอร์ (anionic monomer) เช่น กรดอะคริลิก และกรด 2-อะคริลาไมโด-2-เมทิลโพรเพนซัลโฟนิค (AMPS) เป็นต้น
- แคตไอออนิกมอนอเมอร์ (cationic monomer) เช่น ไดอัลคิลโดเมทิลอลูมิเนียมคลอไรด์ และไดอัลคิลอะมิโนอัลคิล(เมทา)อะคริลาไมด์ เป็นต้น

โดยทั่วไปนิยมใช้มอนอเมอร์ผสมของนอนไอออนิกมอนอเมอร์ ร่วมกับแอนไอออนิกมอนอเมอร์ หรือนอนไอออนิกมอนอเมอร์ ร่วมกับแคตไอออนิกมอนอเมอร์

2) พอลิเมอร์สายโซ่หลัก ชนิดที่นิยมใช้คือ พอลิเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก เช่น พอลิแซคคาไรด์ (แป้ง เซลลูโลส เดกซ์ทริน ฯลฯ) เกลลือคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ลิกนิน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิเอทิลีนออกไซด์ เป็นต้น

3) ตัวย้ายสายโซ่ (chain transfer agent) นำมาใช้เพื่อควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ และควบคุมให้มีกิ่งสาขาน้อย ปกติตัวย้ายสายโซ่จะใช้ในปริมาณที่น้อยต่ำกว่า 10% โดยน้ำหนักรวมของมอนอเมอร์ผสมทั้งหมดที่ใช้ ตัวอย่างเช่น โพรพิลีนไกลคอล ไนไตรโล-ทริส-โพรพิโอนาไมด์ เป็นต้น ซึ่งอาจเติมไปในขั้นตอนการผสมมอนอเมอร์ หรือในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาก็ได้

4) สารเชื่อมโยง (crosslinking agent) เป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ มีผลทำให้คุณสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพดีขึ้น ในกรณีของพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติดูด

ชั้นน้ำสารเชื่อมโยงจะช่วยทำให้พอลิเมอร์ทรงโครงสร้างได้นานขึ้น ตัวอย่างเช่นเมทิลลีน-บิส-อะครีลาไมด์

5) ตัวริเริ่มปฏิกิริยา (initiator) การใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาควรคำนึงถึงชนิดของมอนอเมอร์ด้วย ตัวริเริ่มอาจแตกพันธะในโมเลกุลเมื่อได้รับความร้อน แล้วได้อนุมูลอิสระในการริเริ่มปฏิกิริยาเช่น โฟแทลเซียมเปอร์ซัลเฟต หรือแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต เป็นต้น หรือตัวริเริ่มอาจเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์กับสารตั้งต้นแล้วทำให้สารตั้งต้นกลายเป็นอนุมูลอิสระที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเช่น ซิริกแอมโมเนียมไนเตรต เป็นต้น

6) ตัวทำละลาย ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวริเริ่มที่ใช้ มอนอเมอร์ และพอลิเมอร์สายโซ่หลัก แต่โดยทั่วไปใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

7) ระบบสำหรับกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน โดยทั่วไปปฏิกิริยาจะต้องเกิดขึ้นภายใต้บรรยากาศที่ไม่มีก๊าซออกซิเจนเช่นบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน หรือบรรยากาศก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อไม่ให้มีผลต่อการยับยั้งปฏิกิริยา สำหรับกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบโฝมนี้อปฏิกิริยาเกิดขึ้นภายใต้บรรยากาศก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ให้เกิดขึ้นภายในระบบ โดยสารประกอบเกลือคาร์บอเนตทำปฏิกิริยากับกรดโปรโตนิค หรือทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์บางชนิดที่สามารถระพุดตัวเป็นกรดได้ เช่น กรดอะคริลิก

เนื่องจากในระบบของกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบโฝมเกิดฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลทำให้ส่วนผสมในหม้อปฏิกิริยามีปริมาตรเพิ่มมากขึ้น จึงควรให้หม้อปฏิกิริยาที่มีปริมาตรมากกว่าปริมาตรของสารตั้งต้นทั้งหมดในระบบประมาณ 1.5-2 เท่า

2.2.2.2 ลักษณะของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบโฝม

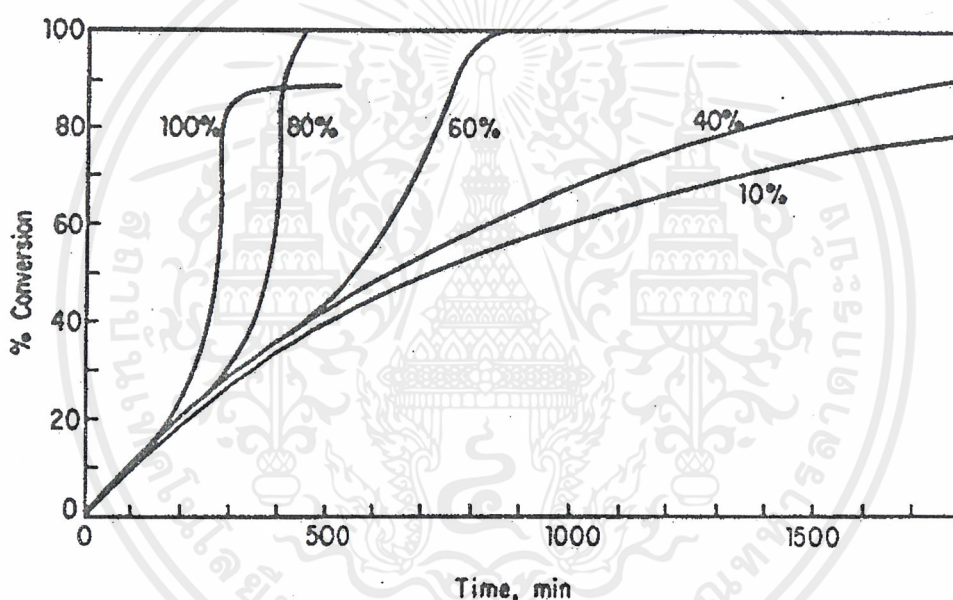
ลักษณะของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบโฝมที่ Zhang และผู้ร่วมงานได้ทำการคิดค้นขึ้นสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- ทำให้แบ่งเป็นเจล
- เจลของแบ่งเกิดการแยกตัวออกจากกัน เนื่องจากฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ขณะที่ตัวริเริ่มแตกตัวให้อนุมูลอิสระแล้วริเริ่มปฏิกิริยาที่หยดเจลเล็ก ๆ ของแบ่งที่แยกออก โดยที่หยดเจลของแบ่งนี้จะมีความเข้มข้นมอนอเมอร์สูง
- เมื่อเริ่มเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ความร้อนของปฏิกิริยาจะถูกปลดปล่อยผ่านทางฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ซึ่งอุณหภูมิช่วงนี้อาจจะคงที่ในขั้นริเริ่มปฏิกิริยาแต่จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เกิดปฏิกิริยา)

- เมื่อปฏิกิริยาดำเนินก้าวหน้าต่อไปความหนืดของระบบจะเพิ่มขึ้น การระบายความร้อนของปฏิกิริยาเป็นไปได้ยากส่งผลให้อุณหภูมิของปฏิกิริยาสูงขึ้นโดยทันทีและปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเร็วมากหรือเกิดปฏิกิริยาแบบความเร่งด้วยตนเอง (auto-acceleration) นั้นเอง

2.2.2.3 ปฏิกิริยาความเร่งด้วยตนเอง (auto-acceleration)

โดยปกติเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันควรจะลดลงเนื่องจากความเข้มข้นของมอนอเมอร์และตัวริเริ่มลดลง แต่มีปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของไวนิลมอนอเมอร์หลายชนิดที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เรียกว่าเกิด "ปฏิกิริยาความเร่งด้วยตนเอง" หรือบางครั้งอาจเรียกว่า "ปรากฏการณ์ทรอมมดอร์ฟ" (Trommsdorff effect) หรือ "ปรากฏการณ์นอร์ริช-สมิธ" (Norris-Smith effect) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดปฏิกิริยาความเร่งด้วยตนเอง (ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเมทิลเมทาอะคริเลตในตัวทำละลายเบนซีนที่อุณหภูมิ 50 °C ตัวริเริ่มคือเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์)

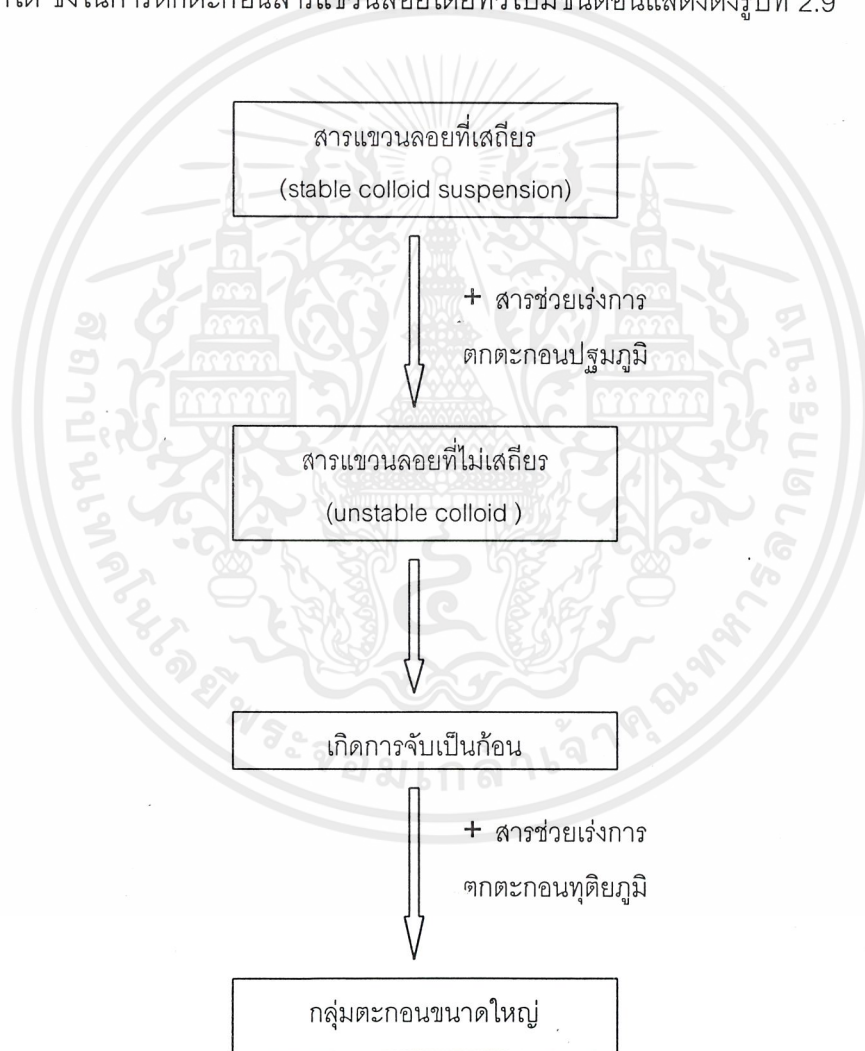
จากการศึกษาของ Zhang และผู้ร่วมงานได้อธิบายว่า เนื่องจากแป้งเป็นเจลก่อนเกิดอนุมูลอิสระบนโมเลกุลของแป้ง ทำให้ระบบมีความหนืดสูงตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาความเร่งด้วยตนเองตั้งแต่ขั้นนี้ และจากการที่สายโซ่พอลิเมอร์ที่กำลังเติบโตถูกแยกออกจากกันโดยฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลทำให้สายโซ่อนุมูลอิสระมีเวลาชีวิต (life time) เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นการลดโอกาสที่สายโซ่อนุมูลอิสระจะรวมตัวกันเข้าสู่ขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยา ดังนั้นพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้จึงมีน้ำหนักโมเลกุลสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สารสร้างตะกอน [11]

2.3.1 การตกตะกอน

เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และพื้นผิวสามารถถูกไอออนไนซ์ได้ ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์ขึ้นซึ่งโดยทั่วไปเป็นประจุลบ ประจุไฟฟ้าสถิตย์นี้มีอิทธิพลทำให้อนุภาคเกิดความเสถียรในการแขวนลอย เพราะประจุที่เหมือนกันทำให้อนุภาคเกิดแรงผลักระหว่างกัน ไม่รวมเป็นก้อนขนาดใหญ่ ดังนั้นการตกตะกอนสารแขวนลอยจึงทำได้โดยการเติมสารสร้างตะกอน เพื่อไปลดประจุไฟฟ้าสถิตย์ที่พื้นผิว ทำให้อนุภาคสามารถรวมกันเป็นก้อนขนาดใหญ่พอที่แรงโน้มถ่วงของโลกจะมีอิทธิพลทำให้ตกตะกอนลงมาได้ ซึ่งในการตกตะกอนสารแขวนลอยโดยทั่วไปมีขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงขั้นตอนการตกตะกอนสารแขวนลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.9 เห็นได้ว่าในการตกตะกอนต้องเติมสารสร้างตะกอน 2 ขั้นตอน สารสร้างตะกอนในขั้นตอนแรกที่เติมลงไปเรียกว่า สารช่วยเร่งการตกตะกอนปฐมภูมิ และสารสร้างตะกอนในขั้นตอนที่ 2 เรียกว่าสารช่วยเร่งการตกตะกอนทุติยภูมิ ซึ่งสารสร้างตะกอนที่เติมลงไปในแต่ละขั้นตอนมีลักษณะการทำงานดังนี้

- ก. สารช่วยเร่งการตกตะกอนปฐมภูมิ (coagulant) มักเป็นสารพวกเกลืออนินทรีย์โดยทั่วไป เป็นเกลือของเหล็ก และอลูมิเนียม หรือเป็นพอลิอิเล็กโตรไลต์ที่มีความหนาแน่นประจุสูง สารช่วยจับเป็นก้อนปฐมภูมินี้จะถูกดูดซับบนพื้นผิวอนุภาคส่งผลให้แรงผลักระหว่างอนุภาคลดลง ทำให้อนุภาคเข้าใกล้กันได้มากขึ้นเกิดการรวมตัวกันได้ง่ายขึ้น
- ข. สารช่วยเร่งการตกตะกอนทุติยภูมิ (flocculant) ในบางครั้งการเติมสารเร่งการตกตะกอนอย่างเดียวเกิดการตกตะกอนช้า กลุ่มตะกอน (floc) มีลักษณะเปื่อยยุ่ยแตกง่าย หรือตกตะกอนได้ไม่หมด จึงต้องเติมสารช่วยเร่งการตกตะกอนซึ่งเป็นสารประเภทอิเล็กโตรไลต์ที่มีความหนาแน่นประจุต่ำ และน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูงหรือโมเลกุลมีขนาดใหญ่ จะช่วยในการจับกลุ่มตะกอนให้รวมเข้าด้วยกันง่ายขึ้น

2.3.2 ประเภทของสารสร้างตะกอน [3]

หากแบ่งสารสร้างตะกอนตามลักษณะของสารองค์ประกอบ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

- ก. สารสร้างตะกอนประเภทสารอนินทรีย์
- ข. สารสร้างตะกอนประเภทพอลิเมอร์

สำหรับสารสร้างตะกอนประเภทพอลิเมอร์นั้นยังแบ่งได้ตามแหล่งที่มาคือพอลิเมอร์ที่มาจากธรรมชาติและสังเคราะห์ขึ้น โดยทั้งพอลิเมอร์จากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ยังแบ่งออกย่อยได้อีกตามประจุบนพอลิเมอร์ ดังนี้

- สารสร้างตะกอนชนิดไม่มีประจุ (nonionic)
- สารสร้างตะกอนชนิดประจุลบ (anionic)
- สารสร้างตะกอนชนิดประจุบวก (cationic)

2.3.2.1 สารสร้างตะกอนประเภทสารอนินทรีย์

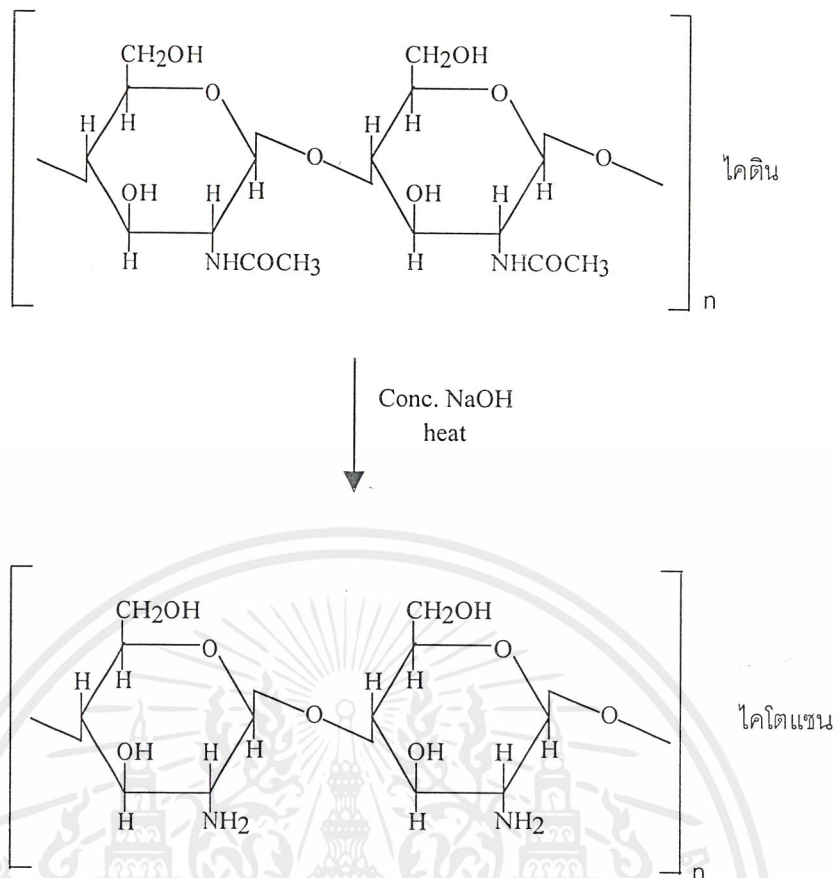
ส่วนใหญ่เป็นเกลืออนินทรีย์ที่ละลายน้ำของอลูมิเนียมและเหล็ก ตัวอย่างที่ใช้ในทางการค้า เช่น อนุพันธ์ของอลูมิเนียม อะลัม พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ อลูมินเต เพอร์ริคคลอไรด์ เพอร์รัสคลอไรด์ ซึ่งต่อมาได้มีการค้นพบสารสร้างตะกอนพอลิเมอร์สังเคราะห์ จึงทำให้การใช้สารสร้างตะกอนประเภทนี้ลดลง

2.3.2.2 สารสร้างตะกอนประเภทพอลิเมอร์จากธรรมชาติ

สารสร้างตะกอนพอลิเมอร์ประเภทนี้มีราคาถูก ไม่มีความเป็นพิษ แต่เนื่องจากสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้จึงทำให้มีปัญหาในการเก็บรักษา ตัวอย่างได้แก่

ก. แป้ง (starch) เป็นสารพอลิแซคคาไรด์ มีอะไมโลเพคตินเป็นองค์ประกอบหลักมักมีการปรับปรุงสมบัติก่อนนำไปใช้ โดย

- แทนที่ด้วยประจุบวก เช่น การทำอีเทอร์ิฟิเคชัน (etherification) แป้งด้วย เอ็น-เอ็นไดเมททิลอะมิโนเอทิลคลอไรด์ และ 2,3-อีพอกซีโพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ แต่การทำอีเทอร์ิฟิเคชันนี้จะได้องศาการแทนที่ต่ำ (< 0.05) หรือโดยการทำพอลิเมอร์แบบตอกึ่งกับมอนอเมอร์ที่มีประจุบวก
 - แทนที่ด้วยประจุลบ เช่น นำแป้งมาทำปฏิกิริยากับอัลคาไล หรือโซเดียมฟอสเฟตที่ 100 องศาเซลเซียสในช่วงเวลาสั้น ๆ และโดยการทำพอลิเมอร์แบบตอกึ่งกับมอนอเมอร์ที่มีประจุลบ
- ข. อนุพันธ์ของไคตินและไคโตแซน (Chitin derivative and Chitosan) ไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติดูดซึมน้ำชนิดหนึ่งที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สกัดได้จากเปลือกของสัตว์จำพวกกุ้ง ปู หอย แมลง ไคตินที่ได้จากต่างแหล่งกันจะมีความแตกต่างกันบ้างในเรื่องของความยาวสายโซ่ รูปแบบผลึก จำนวนหมู่อะซิติด ($\text{CH}_3\text{CO}-$) หากนำไคตินมาต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น หมู่อะซิติดบางส่วนจะถูกดึงออกเกิดเป็นหมู่เอมีนแทน เรียกอนุพันธ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า ไคโตแซน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอนสารแขวนลอยในน้ำทิ้งที่มีสภาพเป็นกรดได้ โดยหมู่เอมีน ($-\text{NH}_2$) สามารถจับกับโปรตอนเป็นหมู่ NH_3^+ ซึ่งสามารถทำให้อนุภาคแขวนลอยที่มีประจุลบเกิดการรวมตัว และตกตะกอนลงมาได้ นอกจากนี้ยังใช้ในการกำจัดโลหะหนักได้ เนื่องจากเป็นลิแกนด์ที่ดี

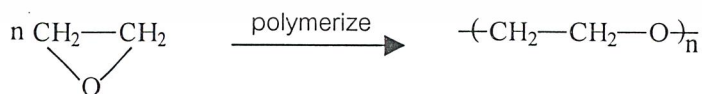


รูปที่ 2.10 แสดงอนุพันธ์ของไคตินและไคโตแซน

2.3.2.3 สารสร้างตะกอนประเภทพอลิเมอร์จากการสังเคราะห์

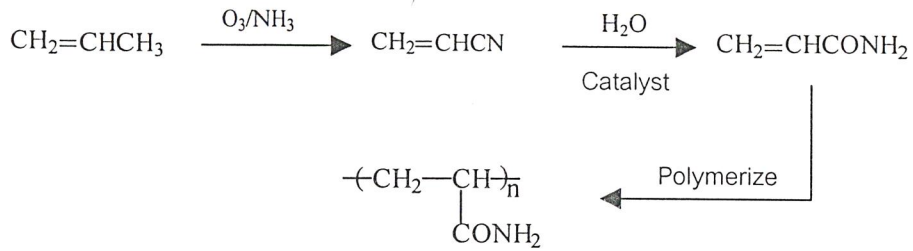
1) สารสร้างตะกอนชนิดไม่มีประจุ ส่วนมากเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึงสูงมาก และอาจเกิดการไฮโดรไลซิสในกระบวนการเตรียมบ้าง ทำให้มีปริมาณความเป็นประจุลบบ้างเล็กน้อย มักใช้กับน้ำทิ้งที่มีคุณสมบัติเป็นกรด เช่น

ก. พอลิเอทีลีนออกไซด์ เตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของเอทีลีนออกไซด์ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การเตรียมพอลิเอทีลีนออกไซด์

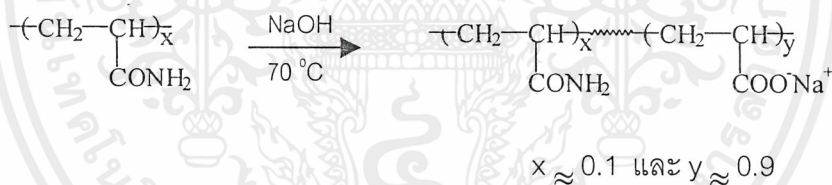
- ข. พอลิอะคริลาไมด์ เตรียมจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การเตรียมพอลิอะคริลาไมด์

2) สารสร้างตะกอนชนิดที่มีประจุลบ เป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่ที่ให้ประจุลบ เช่น คาร์บอกซิล ซัลโฟนิล ฟอสฟอริก เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันสามารถเตรียมพอลิเมอร์ที่มีประจุลบให้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากได้ และสามารถเตรียมให้มีประจุลบได้ตั้งแต่ 1-100 % พอลิเมอร์ที่นิยมใช้เป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่คาร์บอกซิล มักใช้ในสภาวะน้ำทิ้งที่เป็นกลาง หรือด่าง เช่น

- ก. ไฮโดรไลซ์พอลิอะคริลาไมด์ สามารถทำได้โดยการนำเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์มาทำปฏิกิริยาดังรูป 2.13



รูปที่ 2.13 การเตรียมไฮโดรไลซ์พอลิอะคริลาไมด์

- ข. อะคริลาไมด์-กรดอะคริลิกโคพอลิเมอร์ เตรียมได้โดยพอลิเมอไรเซชันของอะคริลาไมด์กับกรดอะคริลิกในสภาวะที่มีโลหะอัลคาไล หรือเกลือแอมโมเนียม ดังรูปที่ 2.14

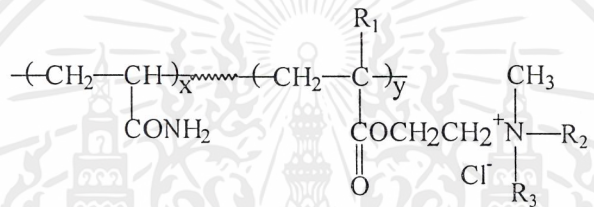
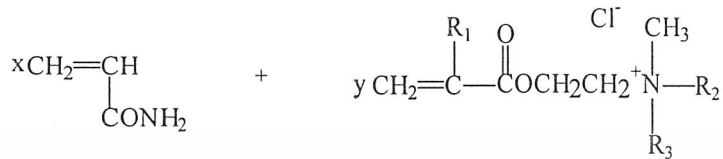


รูปที่ 2.14 การเตรียมอะคริลาไมด์-อะคริลิกโคพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

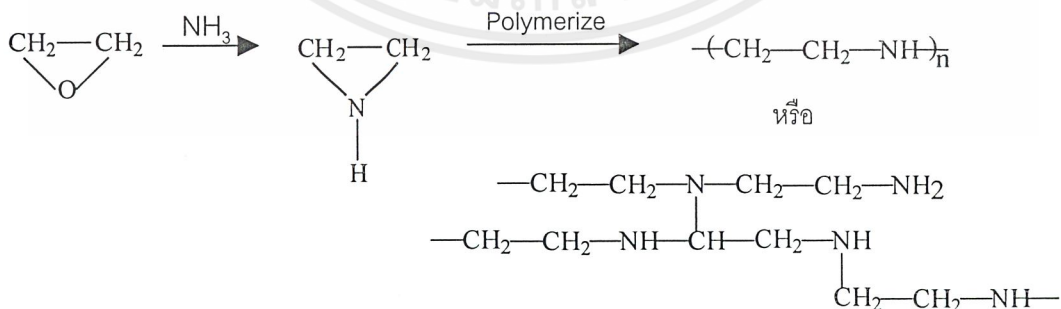
3) สารสร้างตะกอนชนิดที่มีประจุบวก มีหมู่ที่ให้ประจุบวก เช่น เอมีน ซัลโฟเนียม ฟอสโฟเนียม ควอเทอร์ไนซ์แอมโมเนียม เป็นต้น สามารถสังเคราะห์ได้จากพอลิเมอร์ไอออนิกทั้งแบบปฏิกิริยาการเติมและควบแน่น

ก. การเตรียมจากการพอลิเมอร์ไอออนิกแบบเติม เช่น การทำโคพอลิเมอร์ของอะคริลาไมด์กับควอเทอร์ไนซ์มอนอเมอร์ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การเตรียมโคพอลิเมอร์ของอะคริลาไมด์กับควอเทอร์ไนซ์มอนอเมอร์

ข. การเตรียมจากการพอลิเมอร์ไอออนิกแบบควบแน่น พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีนี้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ แต่มีประจุบวกสูง เช่น พอลิเอทิลีนอิมินจากการนำเอทิลีนออกไซด์กับแอมโมเนียได้เอทิลีนอิมิน แล้วพอลิเมอร์ไอออนิกแบบเปิดวงโดยใช้เอทิลีนไดคลอไรด์เป็นตัวริเริ่ม ดังรูปที่ 2.16



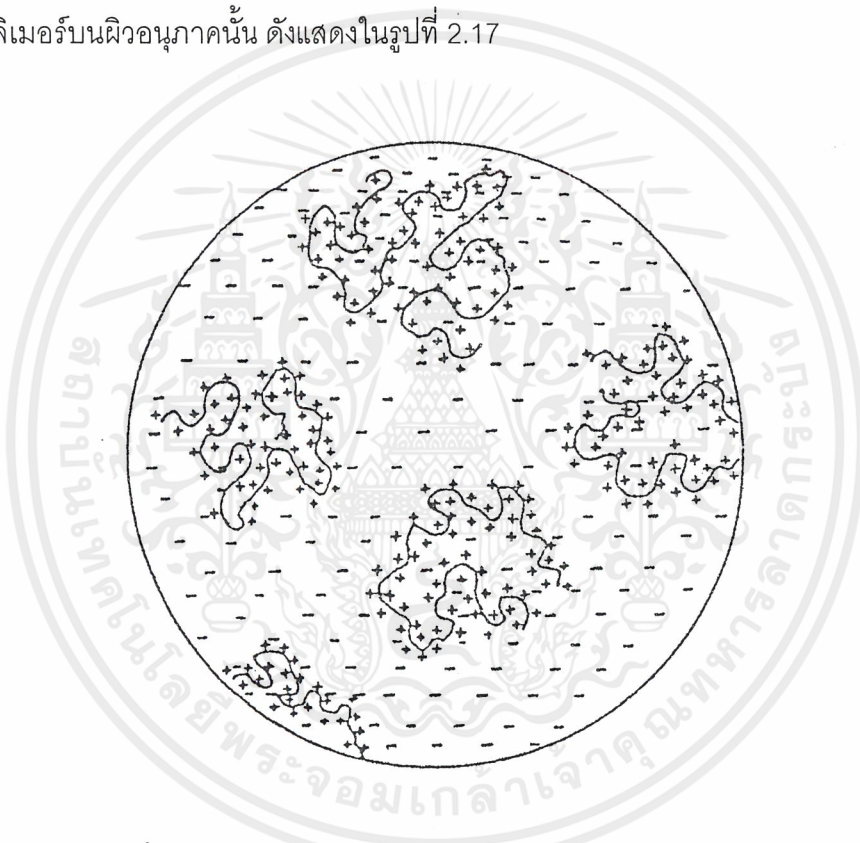
รูปที่ 2.16 การเตรียมพอลิเอทิลีนอิมิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 กลไกการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนของสารสร้างตะกอนประเภทพอลิเมอร์

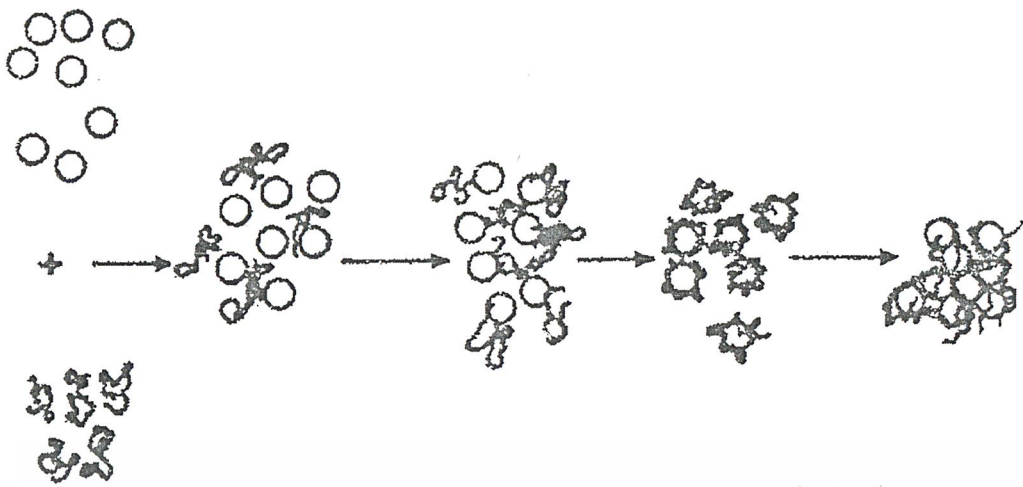
สำหรับกลไกของการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนของสารสร้างตะกอนประเภทพอลิเมอร์ โดยทั่วไปสามารถเกิดขึ้นได้ 2 กลไกขึ้นอยู่กับลักษณะของสารสร้างตะกอนซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. กลไกแผ่นประจุ (Polymer charge patch) คือพื้นผิวอนุภาคที่มีประจุลบดูดซับโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มีประจุบวกด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์ ทำให้ตำแหน่งนั้นมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าเกิดเป็นแผ่นของประจุบวกปกคลุมรอบบริเวณนั้นของอนุภาคช่วยให้อนุภาคที่มีประจุบวกคลุมอยู่สามารถเข้าใกล้และรวมเป็นก้อนกับอนุภาคที่มีพื้นผิวเป็นลบได้ แต่ถ้าใช้พอลิเมอร์มากเกินไปทำให้เกิดแผ่นประจุบวกขึ้นรอบอนุภาคของทุกอนุภาคแล้วอนุภาคจะเกิดการแขวนลอยอีกครั้ง เนื่องจากการผลัดกันของประจุบวกของพอลิเมอร์บนผิวอนุภาคนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงกลไกการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนแบบแผ่นประจุ

2. กลไกสะพานเชื่อม (Polymer bridging) คือพื้นผิวอนุภาคสารแขวนลอยดูดซับส่วนของพอลิเมอร์เส้นตรงที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (สายโซ่โมเลกุลยาว) แล้วปลายที่เหลือของพอลิเมอร์อาจถูกดูดซับโดยอนุภาคสารแขวนลอยอื่น หรือเกี่ยวกับปลายของพอลิเมอร์ที่ส่วนของพอลิเมอร์ถูกดูดซับโดยอนุภาคสารแขวนลอยอื่นเกิดเป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงกลไกการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนแบบสะพานเชื่อม



บทที่ 3

การทดลอง

3.1 สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

สารเคมี	เกรด	บริษัทผู้ผลิต
แป้งมันสำปะหลัง	การค้า	โรงงานแป้งมันไทยท่า ชลบุรี
อะคริลิกมอนอเมอร์	การค้า	สยามเคมีคอล
อะคริลิไมด์มอนอเมอร์	การค้า	สยามเคมีคอล
Na.EDTA	วิเคราะห์	BDH
โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต	วิเคราะห์	Carbo Erba
โพรพิลีนไกลคอล	วิเคราะห์	Fluka Chemie
โซเดียมคาร์บอเนตชนิดปราศจากน้ำ	วิเคราะห์	Carbo Erba
โซเดียมไฮดรอกไซด์	วิเคราะห์	Carbo Erba
กรดซัลฟูริก	วิเคราะห์	Mallinckrodt
กรดไนตริก	วิเคราะห์	J.T.Baker
กรดไฮโดรคลอริก	วิเคราะห์	Mallinckrodt
กรดอะซิติก	วิเคราะห์	Mallinckrodt
แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต	วิเคราะห์	Carbo Erba
เมทานอล	การค้า	
ดินขาว (kaolin)	การค้า	
น้ำกลั่น	-	

3.1.2 เครื่องมือ

1. เครื่องปั่นกวนเชิงกล (mechanical stirrer) บริษัท Yamato Scientific จำกัด รุ่น LR-410
2. ใบพัดปั่นกวน
3. หม้อปฏิกิริยาแบบ 4 คอ (4-necked reaction vessel) ขนาด 2000 มิลลิลิตร
4. อ่างน้ำ (water bath) พร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ บริษัท Buchi จำกัด รุ่น B-480

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แทนให้ความร้อน (hot plate) บริษัท Fisher Scientific จำกัด
6. เทอร์โมมิเตอร์ 0 -100 องศาเซลเซียส
7. ตู้อบ บริษัท Memmert Gmbtt จำกัด รุ่น 400
8. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง บริษัท Precisa Instrument AG จำกัด รุ่น 205A
9. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง บริษัท Precisa Instrument AG จำกัด รุ่น 1620C
10. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 1 ตำแหน่ง บริษัท Denver Instrument จำกัด รุ่น TR-6101
11. อุบเบลโลฮ์ด วิสโคมิเตอร์ (ubbelohde viscometer)
12. เครื่องกรองสูญญากาศ บริษัท Tokyorikakikai จำกัด รุ่น A-3S
13. เครื่องฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ บริษัท Bruker จำกัด รุ่น IFS 28
14. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ บริษัท Jenway จำกัด รุ่น 6405
15. เครื่องเจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟี บริษัท Water จำกัด รุ่น 150 C
16. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า บริษัท Schott จำกัด รุ่น CG 855
17. อุปกรณ์จาร์เทสต์ บริษัท Velp Scientifica จำกัด รุ่น F4/5
18. เครื่องวัดความชื้น บริษัท Jenway จำกัด รุ่น 6035
19. กระดาษวัดสภาพความเป็นกรดต่าง (pH)
20. เครื่องแก้วต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นในห้องปฏิบัติการ เช่น ปีกเกอร์ ขวดวัดปริมาตร กรวยแก้ว ปิเปต เป็นต้น

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมแป้งไฮโดรไลซ์จากแป้งมันสำปะหลัง

ใส่แป้งมันสำปะหลังจำนวน 500 กรัม ลงในหม้อปฏิริยาที่มีเครื่องปั่นกวนเชิงกลประกอบอยู่พร้อมที่จะใช้งาน เติมน้ำละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ลงในหม้อปฏิริยา แล้วปั่นกวนสารที่อยู่ในหม้อปฏิริยาด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการปรับค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของสารในหม้อปฏิริยาให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กรองสารออกและล้างด้วยเมทานอล แล้วจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง (หรือจนแห้งสนิท) นำสารที่อบแห้งแล้วไปบดให้ละเอียดเก็บไว้ในภาชนะที่ปราศจากความชื้น

3.2.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกกิ่งของแป้ง

3.2.2.1 การเตรียมสารละลาย Na.EDTA เข้มข้น 5.6%

ซึ่ง Na.EDTA จำนวน 28 กรัม นำมาใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นพอประมาณ กวนสารให้เข้ากันโดยให้ความร้อนแก่สารตลอดเวลาจนกระทั่งส่วนที่เป็นของแข็งละลายหมดแล้วปล่อยให้สารละลายเย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นเทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นลงไปจนสารละลายถึงขีดบอกริมาตร

3.2.2.2 การเตรียมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1 โมลาร์

ตวงกรดไนตริกเข้มข้นให้ได้ปริมาตร 16 มิลลิลิตร เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นอยู่พอประมาณ เขย่าให้เข้ากันแล้วจึงเติมน้ำกลั่นลงไปอีกจนสารละลายถึงขีดบอกริมาตร

3.2.2.3 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเข้มข้น 0.1 โมลาร์

ซึ่งโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตจำนวน 6.7578 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1 โมลาร์ลงไปจนพอละลายของแข็งได้หมด แล้วเทสารละลายที่ได้ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรจนครบด้วยสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1 โมลาร์ที่เหลือ และเก็บสารละลายที่เตรียมได้ไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส

3.2.2.4 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกกิ่งของแป้งกับอะคริลิกมอนอเมอร์

ดำเนินการสังเคราะห์เป็นขั้นตอนดังนี้

- 1) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 80 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วใส่แป้งไฮโดรไลซ์ลงในปริมาณที่ต้องการศึกษาโดยทำการปั่นกวนจนกระทั่งแป้งกลายเป็นเจลใส (ความเร็ว 600 รอบต่อนาที) จากนั้นลดอุณหภูมิลงเหลือ 50 องศาเซลเซียส
- 2) เติมน้ำโซเดียมคาร์บอเนตจำนวน 26.5 กรัมลงไป แล้วปั่นกวนจนละลายหมดแล้วลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิห้อง
- 3) เติมน้ำกลั่น Na.EDTA 5 มิลลิลิตร และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 0.2 มิลลิลิตรลงไปผสมจนเข้ากัน แล้วเพิ่มอุณหภูมิของระบบจนถึง 40 องศาเซลเซียส
- 4) เติมน้ำอะคริลิกมอนอเมอร์หนัก 36 กรัมลงไปอย่างต่อเนื่อง แล้วปั่นกวนจนเข้ากันเป็นเวลาประมาณ 1 นาทีครึ่ง

- 5) เติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตในปริมาณที่ต้องการศึกษาอย่างรวดเร็ว เริ่มบันทึกเวลาและอุณหภูมิที่วัดได้ทุก ๆ 30 วินาทีจนกระทั่งอุณหภูมิขึ้นสูงสุด จึงถือว่าสิ้นสุดปฏิกิริยา
- 6) นำพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนกระทั่งแห้งสนิท นำไปบดให้ละเอียดและเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์เพื่อป้องกันความชื้น

3.2.2.5 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแบ่งกับอะครีลาไมด์มอนอเมอร์

ดำเนินการสังเคราะห์เป็นขั้นตอนดังนี้

- 1) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วใส่แบ่งไฮโดรไลซ์ลงไปในปริมาณที่ต้องการศึกษา โดยทำการปั่นกวนจนกระทั่งแบ่งกลายเป็นเจลใส (ความเร็ว 600 รอบต่อนาที) จากนั้นลดอุณหภูมิลงเหลือ 50 องศาเซลเซียส
- 2) เติมผงโซเดียมคาร์บอเนตจำนวน 13.25 กรัมลงไป แล้วปั่นกวนจนละลายหมด
- 3) เติมสารละลาย Na.EDTA 5 มิลลิลิตร โพธิ์ลิโนไกลคอล 0.2 มิลลิลิตร และอะครีลาไมด์มอนอเมอร์หนัก 35.5 กรัมลงไปตามลำดับ ปั่นกวนจนเข้ากันโดยรักษาอุณหภูมิของระบบไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส
- 4) เติมสารละลายกรดอะซิติก 34.3 มิลลิลิตร (กรดอะซิติกเข้มข้น 14.3 มิลลิลิตรในน้ำ 20 มิลลิลิตร) อย่างต่อเนื่อง แล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตในปริมาณที่ต้องการศึกษาต่อทันที เริ่มบันทึกเวลาและอุณหภูมิที่วัดได้ทุก ๆ 30 วินาทีจนกระทั่งอุณหภูมิขึ้นสูงสุด จึงถือว่าสิ้นสุดปฏิกิริยา
- 5) นำพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนกระทั่งแห้งสนิท นำไปบดให้ละเอียดและเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์เพื่อป้องกันความชื้น

3.2.3 การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ของการสังเคราะห์ที่มีผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน และสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน

ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่

- ปริมาณของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (สารริเริ่ม) โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้เป็น 0.25 0.50 และ 0.75 มิลลิโมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปริมาณของแป้งไฮโดรไลต์ โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้เป็น 10 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับปริมาณของมอนอเมอร์
- ส่วนสารตั้งต้นอื่น ๆ ในทุกการทดลองจะมีปริมาณคงที่ตามที่แสดงไว้ในวิธีการสังเคราะห์ข้อ

3.2.2.4 และ 3.2.2.5

3.2.4 การตรวจสอบพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกึ่งที่สังเคราะห์ได้

3.2.4.1 การหาเปอร์เซ็นต์มอนอเมอร์ที่เปลี่ยนไป (% monomer conversion)

ซึ่งพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกึ่งที่อบแห้งแล้วหนัก 2 กรัม (ทศนิยมละเอียด 4 ตำแหน่ง) นำมาใส่ในบีกเกอร์ที่มีเมทานอลอยู่ 50 มิลลิลิตร ทำการปั่นกวนนานประมาณ 1 ชม. แล้วกรองแยกส่วนที่เป็นของแข็งออก จากนั้นจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนมีน้ำหนักคงที่แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์มอนอเมอร์ที่เปลี่ยนไปดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ monomer conversion} = \frac{A - (B \times C)}{B \times D} \times 100$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของพอลิเมอร์หลังการล้างด้วยเมทานอล (กรัม)

B คือ น้ำหนักของพอลิเมอร์ก่อนการล้างด้วยเมทานอล (กรัม)

C คือ น้ำหนักของแป้งต่อน้ำหนักรวมของแป้งและมอนอเมอร์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้น (กรัม)

D คือ น้ำหนักของมอนอเมอร์ต่อน้ำหนักรวมของแป้งและมอนอเมอร์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้น (กรัม)

3.2.4.2 การหาปริมาณน้ำที่เหลือจากปฏิกิริยา (% water content)

ซึ่งพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกึ่งที่สังเคราะห์ได้และยังไม่ได้อบแห้งหนัก 2 กรัม (ทศนิยมละเอียด 4 ตำแหน่ง) ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่แล้วคำนวณหาปริมาณน้ำที่เหลือจากปฏิกิริยาดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ water content} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของพอลิเมอร์ก่อนอบ (กรัม)

B คือ น้ำหนักของพอลิเมอร์หลังอบ (กรัม)

3.2.4.3 การตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟี

เตรียมสารละลายตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุลมีความเข้มข้นประมาณ 0.1 % แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องเจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟี โดยมีสภาวะการทดลองดังต่อไปนี้

- Column : Ultrahydrogel 250 ต่อกับ Ultrahydrogel 500
- Temperature : Column : Detector : Solvent pump = 45 : 45 : 35 °C
- Solvent : Deionized water
- Flow rate : 0.4 ml/minute
- Maximum pressure : 40 Bar
- Run time : 70 minute
- Equilibrate delay : 20 minute
- Initial delay : 30 minute
- Injection volume : 200 μ l
- Sensitivity : -32

3.2.4.4 การตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตเมทรี

นำพอลิเมอร์รวมแบบตอกึ่งที่สังเคราะห์ได้จำนวนหนึ่งมาละลายด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นพอที่จะสามารถเตรียมแผ่นฟิล์มได้ จากนั้นนำไปเทใส่ห้วงที่ทำจากลวด ทิ้งไว้จนแห้งแล้วเก็บแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้ไว้ในเดซีเคเตอร์เพื่อรอนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.2.4.5 การหาปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบในโครงสร้าง

ซึ่งพอลิเมอร์รวมแบบตอกึ่งของแบ่งไฮโดรไลซ์กับอะคริลิกมอนอเมอร์ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยมละเอียด 4 ตำแหน่ง) นำมาละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตรจนหมดแล้วนำสารละลายดังกล่าวมาไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน โดยใช้วิธีวัดค่าการนำไฟฟ้า แล้วจากจุดยุติที่หาได้สามารถคำนวณปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบในโครงสร้างได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณประจุลบในโครงสร้าง (โมล/100 กรัม)} = \frac{C \times V}{W \times 10}$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก (โมลาร์)

V คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

W คือ น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่ใช้ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

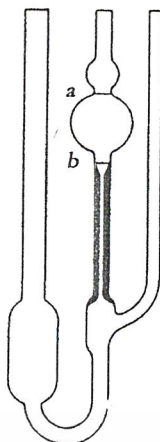
3.2.4.6 การหาค่าความหนืดที่แท้จริง

ดำเนินการทดลองเป็นขั้นตอนดังนี้

- 1) ชั่งพอลิเมอร์รวมแบบต่อที่สังเคราะห์ได้หนัก m กรัม (ประมาณ 0.05 กรัม) นำมาละลายในน้ำกลั่นจนพอลิเมอร์ละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมด้วยน้ำกลั่นอีกจนสารละลายถึงขีดบอกริมาตรจะทำให้ได้สารละลายพอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้น m % (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)
- 2) ปิเปตสารละลายในข้อ 1) มา 50 มิลลิลิตรใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายถึงขีดบอกริมาตรเช่นกัน ซึ่งจะทำให้ได้สารละลายพอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้น $m/2$ % จากนั้นก็เตรียมสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น $m/4$ % และ $m/8$ % ด้วยวิธีการเช่นเดียวกันนี้
- 3) ทำการจับเวลาที่ตัวทำละลายทั้งหมดคือน้ำกลั่นไหลจากจุด a ผ่านจุด b ของอับเบลโลอิดวิสโคมิเตอร์ดังรูปที่ 3.1 โดยเรียกเวลาดังกล่าวว่า "flow time" จากนั้นจึงทำการวัด flow time ของสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น $m/8$ % $m/4$ % $m/2$ % และ m % ตามลำดับ โดยทำการวัดในแต่ละความเข้มข้นซ้ำ 3 ครั้ง
- 4) คำนวณหาค่าความหนืดที่แท้จริง (intrinsic viscosity, $[\eta]$) ได้ดังนี้
 - หาค่าความหนืดสัมพัทธ์ (relative viscosity, η_r) ได้ดังนี้

$$\eta_r = t_c / t_0$$
 เมื่อ t_c และ t_0 คือ flow time ของสารละลายและตัวทำละลายตามลำดับ (วินาที)
 - หาค่าความหนืดจำเพาะ (specific viscosity, η_{sp}) ได้ดังนี้

$$\eta_{sp} = \eta_r - 1$$
 - เขียนกราฟระหว่าง η_{sp} / c กับ c และ $(\ln \eta_r) / c$ กับ c บนแกนเดียวกัน แล้วต่อเส้นกราฟทั้งสองไปที่ $c = 0$ ค่าจุดตัดแกนที่ได้คือค่าความหนืดที่แท้จริง (เมื่อ c คือความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์)

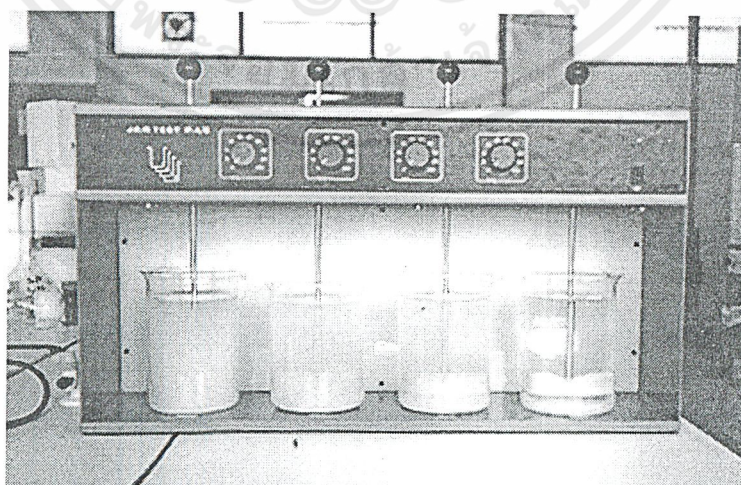


รูปที่ 3.1 แสดงอุบเบลโลอิด วิสโคมิเตอร์

3.2.4.7 การทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน

ทำการทดลองเป็นขั้นตอนดังนี้

- 1) เตรียมสารแขวนลอยดินขาว (kaolin suspension) ที่มีความเข้มข้น 0.15% โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร ใส่ในบีกเกอร์จำนวน 4 ใบ ๆ ละ 1 ลิตร
- 2) เติมสารละลายพอลิเมอร์หรือเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่ต้องการทดสอบลงไปตามต้องการ
- 3) ทำการปั่นกวนเร็ว (ความเร็วรอบประมาณ 120 รอบต่อนาที) นาน 2 นาที และปั่นกวนช้า (ความเร็วรอบประมาณ 30 รอบต่อนาที) นาน 5 นาที แล้วทิ้งสารแขวนลอยไว้นาน 10 นาที
- 4) นำน้ำส่วนใสด้านบนมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 nm แล้วบันทึกผล



รูปที่ 3.2 แสดงการทดสอบการตกตะกอนด้วยอุปกรณ์จาร์เทสต์

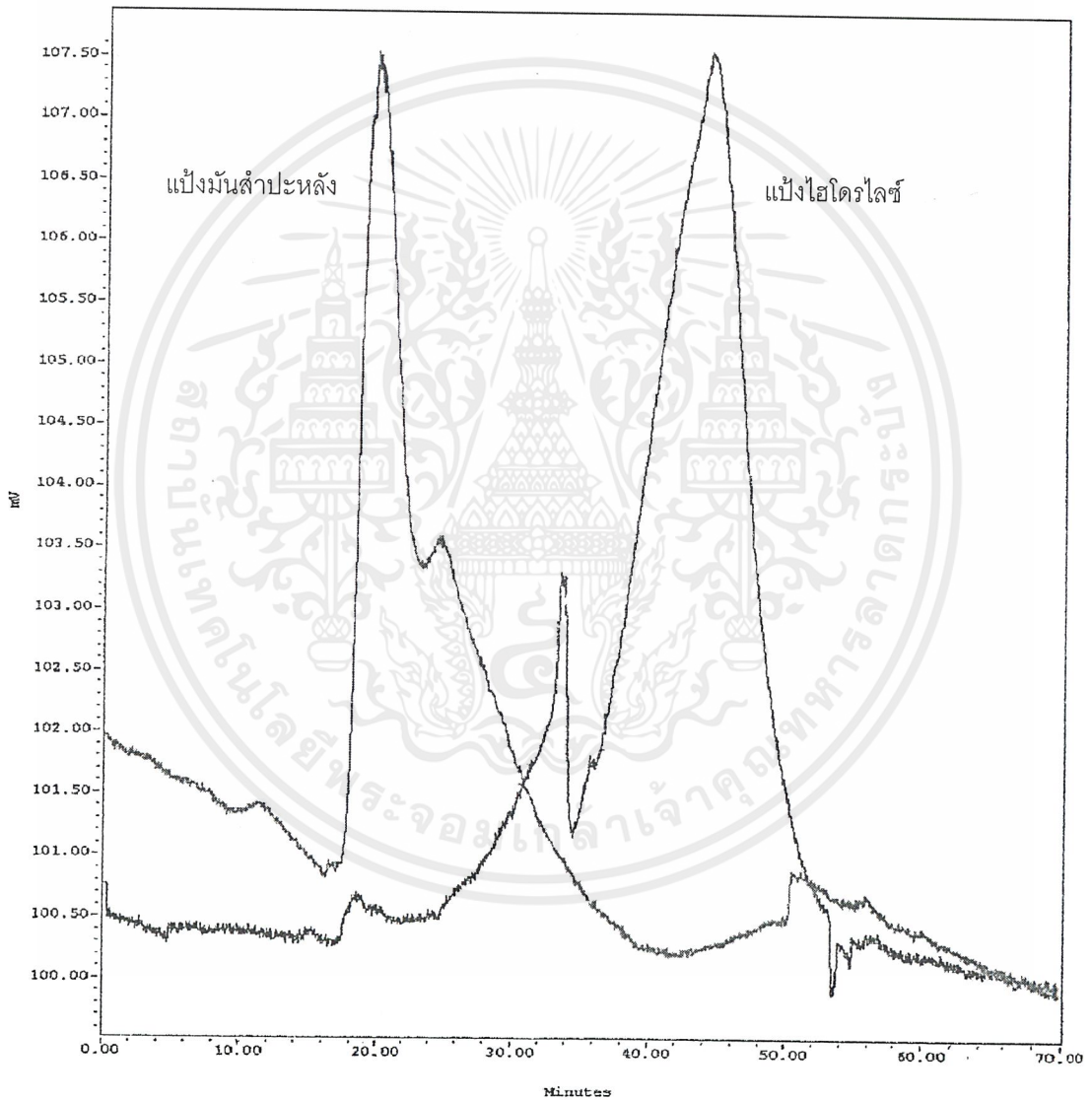
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การตรวจสอบแป้งไฮโดรไลซ์ที่เตรียมได้

งานวิจัยนี้ทำการเตรียมแป้งไฮโดรไลซ์จากแป้งมันสำปะหลัง เพื่อนำมาใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกึ่ง ผลของการไฮโดรไลซ์แป้งมันสำปะหลังแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โคโรมาโตแกรมของแป้งมันสำปะหลังและแป้งไฮโดรไลซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 เป็นโครมาโตแกรมของแป้งมันสำปะหลังและแป้งไฮโดรไลซ์ที่ได้จากการตรวจสอบด้วยเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟี (Gel Permeation Chromatography) พบว่าค่าเวลาริเทนชัน (retention time) ของแป้งไฮโดรไลซ์มากกว่าแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นการแสดงได้ว่าการไฮโดรไลซ์แป้งมันสำปะหลังนั้นทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง อย่างไรก็ตามไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักโมเลกุลที่แน่นอนได้ เนื่องจากค่าเวลาริเทนชันของแป้งไฮโดรไลซ์และแป้งมันสำปะหลังอยู่นอกช่วงกราฟมาตรฐาน (calibration curve) (แสดงไว้ในภาคผนวก ข)

4.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งของแป้งไฮโดรไลซ์

4.2.1 การศึกษาผลของปริมาณสารริเริ่มที่มีต่อปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน

การทดลองในส่วนนี้ได้ทำการเปลี่ยนปริมาณสารริเริ่ม เพื่อศึกษาผลที่มีต่อปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันโดยพิจารณาจากเวลาการเกิดปฏิกิริยา อุณหภูมิสูงสุดของปฏิกิริยา เปอร์เซ็นต์มอนอเมอร์ที่เปลี่ยนไป ปริมาณน้ำที่เหลือจากปฏิกิริยาและสมบัติการละลายน้ำของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งการศึกษานี้ใช้ปริมาณแป้งไฮโดรไลซ์เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์คงที่

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณสารริเริ่มที่มีผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบต่อกิ่งของอะคริลิกมอนอเมอร์

การทดลองที่	ปริมาณสารริเริ่ม (mmol)	เวลาการเกิดปฏิกิริยา (s)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	มอนอเมอร์ที่เปลี่ยนไป (%)	น้ำที่เหลือ (%)	สมบัติและลักษณะการละลายน้ำ
1	0.25	64	97.5	99.47	50.71	ละลายได้ทั้งหมด, ไส
2	0.50	63	98.0	99.10	45.91	} บางส่วนไม่ละลาย แต่บวมเป็นก้อนนูนใส
3	0.75	63	98.0	99.36	46.09	

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณสารริเริ่มที่มีผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบตอ่กึ่งของอะครีลาไมด์ มอนอเมอร์

การทดลองที่	ปริมาณสารริเริ่ม (mmol)	เวลาการเกิดปฏิกิริยา (s)	อุณหภูมิสูงสุด ($^{\circ}\text{C}$)	มอนอเมอร์ที่เปลี่ยนไป (%)	น้ำที่เหลือ (%)	สมบัติและลักษณะการละลายน้ำ
6	0.25	121	94.0	97.88	41.41	ละลายได้ทั้งหมด, ไส } บางส่วนไม่ละลาย } แต่บวมเป็นก้อนนุ่นใส
7	0.50	120	96.0	99.71	47.78	
8	0.75	119	97.5	97.96	45.65	

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าเวลาการเกิดปฏิกิริยา อุณหภูมิสูงสุดของปฏิกิริยา เปอร์เซ็นต์มอนอเมอร์ที่เปลี่ยนไป และปริมาณน้ำที่เหลือจากปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบตอ่กึ่งด้วยอะครีลิกมอนอเมอร์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ยกเว้นสมบัติการละลายน้ำของการทดลองที่ 1 เท่านั้นที่พอลิเมอร์สามารถละลายน้ำได้ทั้งหมด ส่วนการทดลองที่ 2 และ 3 ยังมีส่วนที่บวมเป็นก้อนนุ่นใสของพอลิเมอร์ซึ่งไม่ละลายน้ำแม้ว่าจะเจือจาง และเพิ่มอุณหภูมิในการละลายแล้วก็ตาม ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณสารริเริ่มของการทดลองที่ 2 และ 3 มากเกินไปจนทำให้เกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างสายโซ่ได้ ดังนั้นปริมาณสารริเริ่มที่เหมาะสมในการทดลองต่อไปคือ 0.25 มิลลิโมล

สำหรับผลการทดลองของการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบตอ่กึ่งด้วยอะครีลาไมด์มอนอเมอร์ที่แสดงในตารางที่ 4.2 ก็มีแนวโน้มเหมือนกับกรณีของอะครีลิกมอนอเมอร์ และสามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกัน ดังนั้นปริมาณสารริเริ่มที่เลือกใช้ในการทดลองต่อไปจึงเท่ากับ 0.25 มิลลิโมล

4.2.2 การศึกษาผลของปริมาณแบ่งไฮโดรไลซ์ที่มีต่อปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน

การทดลองนี้ได้เปลี่ยนปริมาณแบ่งไฮโดรไลซ์ เพื่อศึกษาผลที่มีต่อปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยพิจารณาจากค่าต่าง ๆ เช่นเดียวกับการศึกษาในหัวข้อ 4.2.1 ซึ่งการศึกษาในส่วนนี้ใช้ปริมาณสารริเริ่มเท่ากับ 0.25 มิลลิโมล

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณแบ่งไฮโดรไลซ์ที่มีผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบตอกิ่งของอะคริลิก
มอนอเมอร์

การทดลองที่	ปริมาณแบ่ง (% by wt. monomer)	เวลาการเกิด ปฏิกิริยา (s)	อุณหภูมิ สูงสุด ($^{\circ}\text{C}$)	มอนอเมอร์ที่ เปลี่ยนไป (%)	น้ำที่เหลือ (%)	สมบัติและลักษณะ การละลายน้ำ
1	10	64	97.5	99.47	50.71	ละลายหมด, ใส
4	30	95	78.0	99.55	43.58	ละลายหมด, ขุ่นเล็กน้อย
5	50	124	80.5	94.01	43.27	ละลายหมด, ขุ่น

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณแบ่งไฮโดรไลซ์ที่มีผลต่อปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบตอกิ่งของอะคริลไมด์
มอนอเมอร์

การทดลองที่	ปริมาณแบ่ง (% by wt. monomer)	เวลาการเกิด ปฏิกิริยา (s)	อุณหภูมิ สูงสุด ($^{\circ}\text{C}$)	มอนอเมอร์ที่ เปลี่ยนไป (%)	น้ำที่เหลือ (%)	สมบัติและลักษณะ การละลายน้ำ
6	10	121	94.0	97.88	41.41	ละลายหมด, ใส
9	30	164	88.5	98.36	41.05	ละลายหมด, ขุ่นเล็กน้อย
10	50	184	87.5	99.04	40.72	ละลายหมด, ขุ่น

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 แสดงแนวโน้มที่เหมือนกันและเห็นได้ชัดเจนนี้อคือการเพิ่มปริมาณ
แบ่งไฮโดรไลซ์มีผลทำให้เวลาการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และสารละลายพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มี
ลักษณะขุ่นคล้ายเจลแบ่งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้สามารถอธิบายแนวโน้มดังกล่าวได้ว่าการเพิ่มปริมาณแบ่งไฮโดร
ไลซ์แม้ว่าจะเป็นการเพิ่มโอกาสให้ตัวริเริ่มสามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นอนุมูลอิสระบนโมเลกุลแบ่งได้
มากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้ (รวมทั้งจากตัวริเริ่มเอง) ก็จะมีโอกาสทำปฏิกิริยากับ
มอนอเมอร์ต่อไปได้น้อยลงด้วยเพราะมีโมเลกุลของแบ่งขัดขวาง ดังนั้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจึงเกิด
ได้ช้าลง และใช้เวลาการเกิดปฏิกิริยานานขึ้น

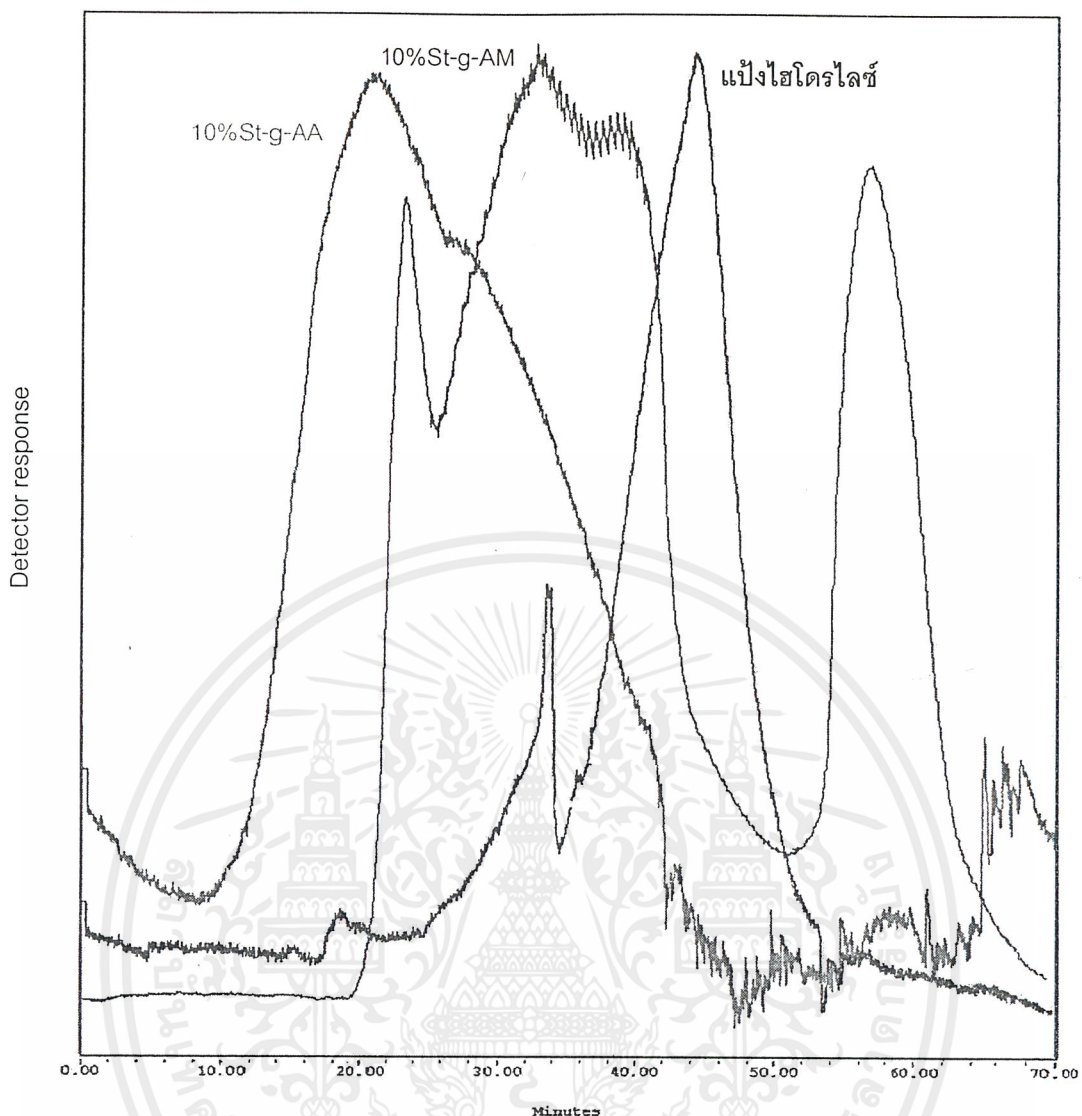
สำหรับลักษณะของสารละลายพอลิเมอร์ขุ่นคล้ายเจลแบ่งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแบ่งไฮโดร
ไลซ์ สามารถอธิบายได้ว่าการสังเคราะห์ที่เพิ่มเฉพาะปริมาณแบ่งไฮโดรไลซ์นั้น จะทำให้จำนวนอนุมูล
อิสระที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลแบ่งต่อหนึ่งโมเลกุลลดลง ซึ่งก็หมายถึงปริมาณของโซ่กิ่งที่ต่อได้บนโมเลกุล
แบ่งหนึ่ง ๆ จะลดลงด้วย และเนื่องจากส่วนของโซ่กิ่งนี้เอง (ทั้งกรณีของอะคริลิก และอะคริลไมด์

มอนอเมอร์) เป็นส่วนที่ช่วยให้พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งมีสมบัติการละลายน้ำได้ ดังนั้นการลดลงของปริมาณโซ่กิ่งบนโมเลกุลแบ่งจึงทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลงซึ่งสังเกตได้จากความหนืดที่เพิ่มขึ้น

4.3 การตรวจสอบการต่อกิ่งได้ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งที่สังเคราะห์ได้

การตรวจสอบการต่อกิ่งได้ของมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดบนโมเลกุลของแบ่งไฮโดรไลซ์ นอกจากสังเกตได้จากความสามารถในการละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วยังได้ทำการตรวจสอบด้วยเทคนิค เจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟี ซึ่งแสดงโครมาโตแกรมดังรูปที่ 4.2





รูปที่ 4.2 โครมาโตแกรมของแปะงไฮโดรไลซ์ 10%St-g-AA และ 10%St-g-AM

จากรูปที่ 4.2 พบว่าพีคของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งของแปะงไฮโดรไลซ์กับอะคริลิกมอนอเมอร์ (10%St-g-AA) และอะคริลามิเดมอนอเมอร์ (10%St-g-AM) มีค่าเวลารีเทนชันน้อยกว่าพีคของแปะงไฮโดรไลซ์และไม่มีพีคของแปะงไฮโดรไลซ์เหลืออยู่เลย อาจแสดงว่าการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมกับมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดได้เกิดการตอกิ่งบนโมเลกุลของแปะงแล้วทำให้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการตอกิ่งของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งของอะคริลามิเดมอนอเมอร์มีพีคปรากฏที่ค่าเวลารีเทนชันมากกว่าพีคของแปะงไฮโดรไลซ์ด้วย ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นพีคของไฮโปพอลิเมอร์ (พอลิอะคริลามิเด) ที่เกิดขึ้นร่วมเนื่องจากในการสังเคราะห์จะมีการเติมกรดทำให้มอนอเมอร์มีสถานะที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการเติมแบบไมเคิล (michael addition) ได้ (หรือก็คือสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจากนิวคลีโอไฟล์เช่นน้ำหรือหมู่ไฮดรอกซิลของแปะงได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตเมทรี

การวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จากตรวจสอบพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกึ่งด้วยอะคริลิกมอนอเมอร์ และอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ (แสดงไว้ในภาคผนวก ค) สามารถสรุปตำแหน่งของพีคที่สำคัญซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะที่มีอยู่ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงตำแหน่งและลักษณะเฉพาะที่สำคัญซึ่งปรากฏบนสเปกตรัมที่ตรวจสอบได้

สาร	เลขคลื่น, cm^{-1}	ลักษณะเฉพาะ
10%St-g-AA (การทดลองที่ 1)	3383.5 2944.6 1571.7 และ 1411.0	O-H stretching C-H (aliphatic) stretching C=O (carboxylate) stretching
10%St-g-AM (การทดลองที่ 6)	3351.9 และ 3198.7 2946.0 1668.1 1414.2	N-H (primary amide) stretching C-H (aliphatic) stretching C=O (amide) stretching C-N (amide) stretching

จากตารางที่ 4.5 แสดงเลขคลื่นของพีคสำคัญของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกึ่งด้วยอะคริลิกมอนอเมอร์ (10%St-g-AA) ที่เป็นลักษณะเฉพาะของ C=O (carboxylate) stretching ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงหมู่คาร์บอกซิเลตที่มีในพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกึ่งที่สังเคราะห์ได้ ส่วนพีคของ O-H stretching นี้เกิดขึ้นได้ทั้งจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแบ่งไฮโดรไลซ์และหมู่คาร์บอกซิลิกที่ยังคงเหลืออยู่ของสายโซ่กึ่ง

สำหรับพีคของ N-H (primary amide) stretching, C=O (amide) stretching และ C-N (amide) stretching เป็นพีคสำคัญที่แสดงได้ถึงหมู่เอไมด์ที่มีในพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกึ่งด้วยอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ (10%St-g-AM) อย่างไรก็ตามพีคของ N-H (primary amide) stretching ไม่ค่อยชัดเจนมากนักอาจเพราะถูกบดบังด้วยพีคของหมู่ไฮดรอกซิลที่มีอยู่บนโมเลกุลแบ่งไฮโดรไลซ์

4.5 การหาค่าความหนืดที่แท้จริง (Intrinsic viscosity)

เนื่องจากไม่สามารถหาค่าน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกึ่งที่สังเคราะห์ได้เพราะมีค่าเวลารีเทนชัน (retention time) อยู่นอกช่วงของกราฟมาตรฐานดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยการสังเกตจากโครมาโตแกรมไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมนัก การหาค่าความหนืดที่แท้จริง ($[\eta]$) โดยใช้เครื่องอุบเบลโลสต์ วิสโคมิเตอร์ (ubbelodhe viscometer) จึงเป็นวิธีการหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (M) ที่สะดวก และเหมาะสมกว่าโดยอาศัยความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$[\eta] = KM^a \quad \text{เมื่อ } K \text{ และ } a \text{ เป็นค่าคงที่}$$

อย่างไรก็ตามแม้จะไม่สามารถหาค่า K และ a ได้ แต่ค่าความหนืดที่แท้จริงและน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยก็มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นจึงพิจารณาจากค่าความหนืดที่แท้จริงแทน ซึ่งการศึกษาผลของปริมาณแ่งไฮโดรไลซ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณแ่งไฮโดรไลซ์ที่มีผลต่อค่าความหนืดที่แท้จริง

การทดลองที่	ชนิดของมอนอเมอร์	ปริมาณแ่ง (% by wt. monomer)	ค่าความหนืดที่แท้จริง, $[\eta]$
1	อะคริลิกมอนอเมอร์	10	53.0
4		30	50.0
5		50	31.0
6	อะคริลไมด์มอนอเมอร์	10	2.85
9		30	1.35
10		50	1.00

หมายเหตุ ผลการทดลองที่นำไปใช้ในการหาค่าความหนืดที่แท้จริงแสดงไว้ในภาคผนวก ง

จากตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อปริมาณแ่งไฮโดรไลซ์เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความหนืดที่แท้จริงลดลงทั้งในกรณีที่ใช้อะคริลิกมอนอเมอร์และอะคริลไมด์มอนอเมอร์ หรือก็คือค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกึ่งมีแนวโน้มลดลงนั่นเอง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองในหัวข้อ 4.2.2 เรื่องปริมาณแ่งที่มีผลต่อสมบัติการละลายน้ำด้วย

4.6 การหาปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบในโครงสร้าง

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งด้วยอะคริลิกมอนอเมอร์โดยใช้เทคนิคโพลิเมอร์ไรเซชันนี้ อะคริลิกมอนอเมอร์จะถูกทำปฏิกิริยาด้วยโซเดียมคาร์บอเนตกลายเป็นเกลือโซเดียมอะคริเลตมอนอเมอร์ ดังนั้นจึงทำให้บนสายโซ่กิ่งของพอลิเมอร์ร่วมที่สังเคราะห์ได้มีหมู่โซเดียมคาร์บอกซิเลต ($-\text{COO}^-\text{Na}^+$) ที่เป็นประจุลบอยู่ด้วยซึ่งอาจมีผลต่อสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน การทดลองในส่วนนี้จึงทำการไทเทรตสารละลายของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งโดยวิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งค่าที่คำนวณได้จากการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.7 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณหมู่โซเดียมคาร์บอกซิเลตที่มีอยู่ในโครงสร้างของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งด้วยอะคริลิกมอนอเมอร์

การทดลองที่	ปริมาณแป้ง (% by wt. monomer)	ปริมาณหมู่ $-\text{COO}^-\text{Na}^+$ (mol/100 g)
1	10	0.8208
4	30	0.7204
5	50	0.6540

หมายเหตุ กราฟการไทเทรตและจุดยุติที่ได้จากการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก จ

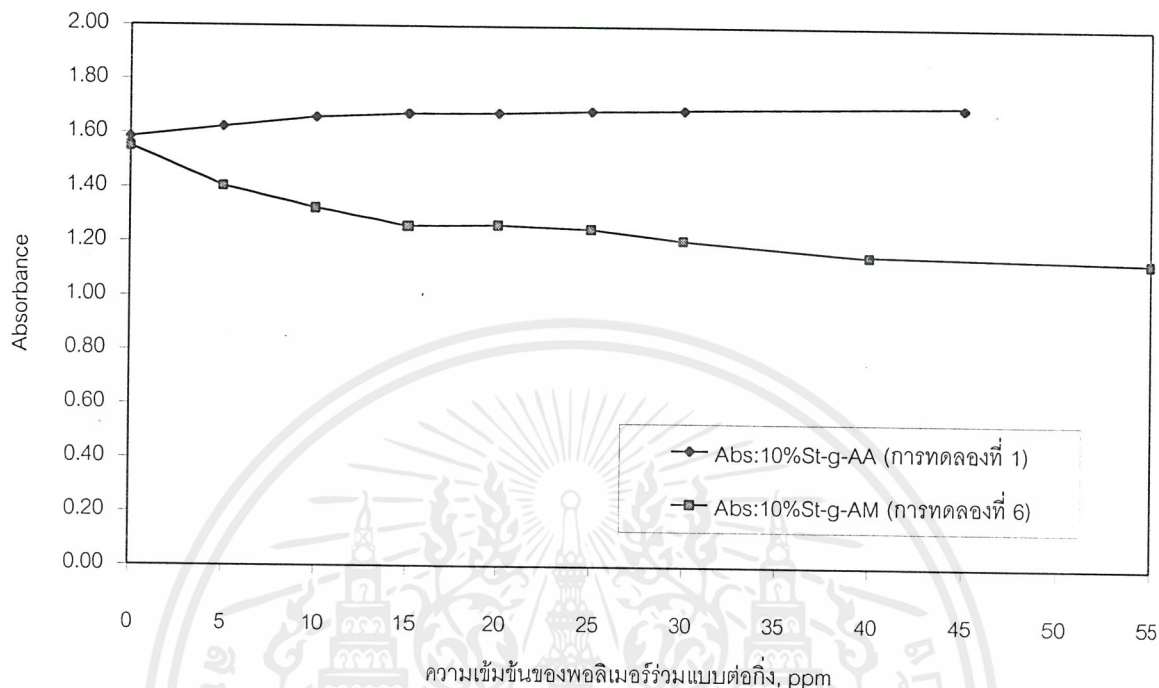
จากตารางที่ 4.7 พบว่าการทดลองที่ใช้ปริมาณของแป้งไฮโดรไลซ์มากขึ้นจะมีผลทำให้มีหมู่โซเดียมคาร์บอกซิเลตลดลง ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการทดลองหัวข้อ 4.2.2 เรื่องปริมาณแป้งที่มีผลต่อสมบัติการละลายน้ำ เนื่องจากสายโซ่กิ่งที่ต่ออยู่บนโมเลกุลแป้งนั้นก็คือพอลิอะคริเลตที่มีหมู่คาร์บอกซิเลตนั่นเอง

4.7 การศึกษาสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน

4.7.1 การศึกษาสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง

การทดลองในส่วนนี้ได้นำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งด้วยอะคริลิกและอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ที่ใช้ปริมาณแป้งไฮโดรไลซ์ในการสังเคราะห์เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์มาศึกษาการทำหน้าที่เป็นสารช่วยเร่ง

การตกตะกอนปฐุมภูมิ (coagulant) สารแขวนลอยดินขาว (kaolin suspension) เข้มข้น 0.15 เปอร์เซ็นต์โดยตรง

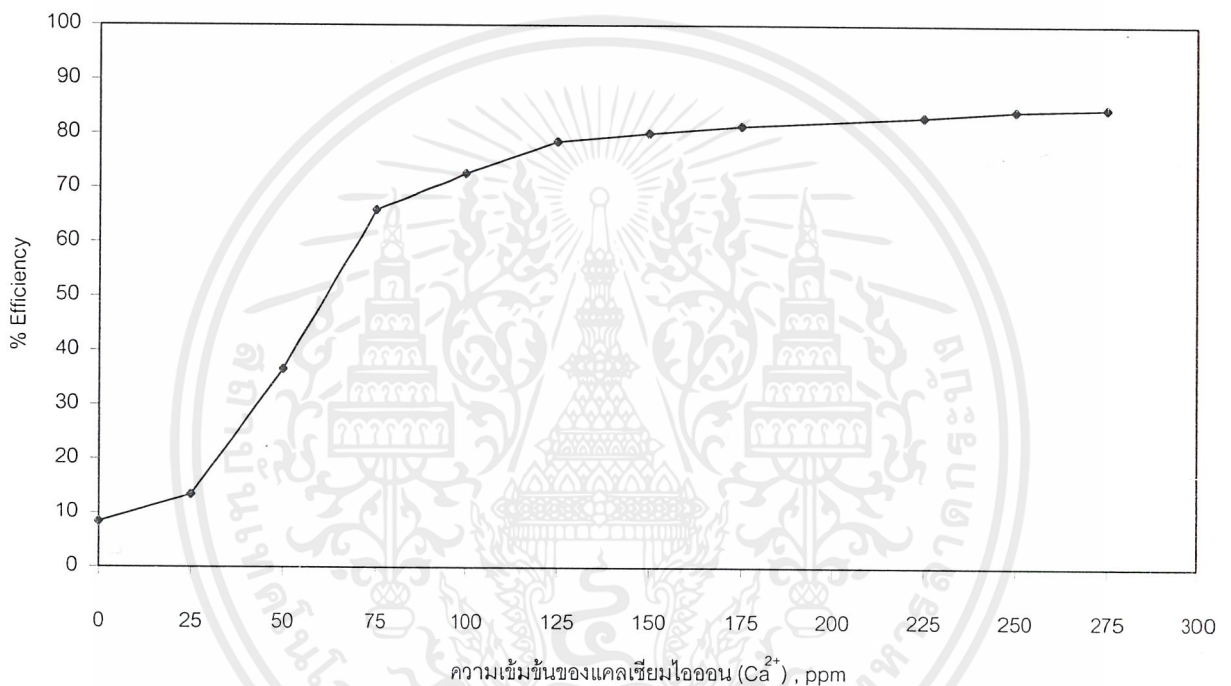


รูปที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AA และ 10%St-g-AM

จากรูปที่ 4.3 กรณีที่ใช้พอลิเมอร์รวมแบบต่อกิ่งด้วยอะคริลิกมอนอเมอร์พบว่าไม่สามารถช่วยทำให้สารแขวนลอยเกิดการตกตะกอนได้โดยตรงสังเกตจากค่าการดูดกลืนแสงไม่ลดลง ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากบนพื้นผิวของอนุภาคสารแขวนลอยมีประจุเป็นลบ และพอลิเมอร์รวมของอะคริลิกมอนอเมอร์ก็มีหมู่ที่เป็นประจุลบเช่นกัน ดังนั้นเมื่อเติมพอลิเมอร์รวมนี้ลงไปในสารแขวนลอยประจุลบที่เหมือนกันจึงเกิดการผลักกันและไม่ช่วยทำให้เกิดตกตะกอนได้นั่นเอง แต่สำหรับกรณีที่ใช้พอลิเมอร์รวมแบบต่อกิ่งด้วยอะคริลิไมด์มอนอเมอร์จะไม่เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว เพราะไม่มีหมู่ที่เป็นประจุลบโดยสายโซ่ของพอลิเมอร์จะสามารถถูกดูดซับบนพื้นผิวของอนุภาคสารแขวนลอยและเกิดการเชื่อมโยงระหว่างอนุภาค จนกลายเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่พอที่จะตกตะกอนลงมาได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจากรูปแสดงถึงกลไกดังกล่าวโดยค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงเมื่อมีการใช้ปริมาณพอลิเมอร์รวมของอะคริลิไมด์มอนอเมอร์เพิ่มขึ้น

4.7.2 การศึกษาสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของเกลือแคลเซียมคลอไรด์

จากการทดลองในหัวข้อ 4.7.1 อาจกล่าวได้ว่าพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งของมอนอเมอร์ทั้งสองไม่สามารถทำให้เกิดการตกตะกอนสารแขวนลอยได้ดีเท่าที่ควร (กรณีของอะคริลาไมด์ก็มีค่าประสิทธิภาพการตกตะกอนต่ำ) ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจึงนำพอลิเมอร์ร่วมทั้งสองชนิดมาใช้ทำหน้าที่เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอนทุติยภูมิ (floculant) โดยมีสารช่วยเร่งการตกตะกอนปฐมภูมิ (coagulant) เป็นเกลือแคลเซียมคลอไรด์ แต่ก่อนที่จะทำการศึกษากการใช้พอลิเมอร์ร่วมที่สังเคราะห์ได้เพื่อทำหน้าที่ดังกล่าวจำเป็นต้องทดสอบความสามารถของเกลือแคลเซียมคลอไรด์เพื่อเลือกความเข้มข้นที่จะนำไปใช้ในการศึกษา

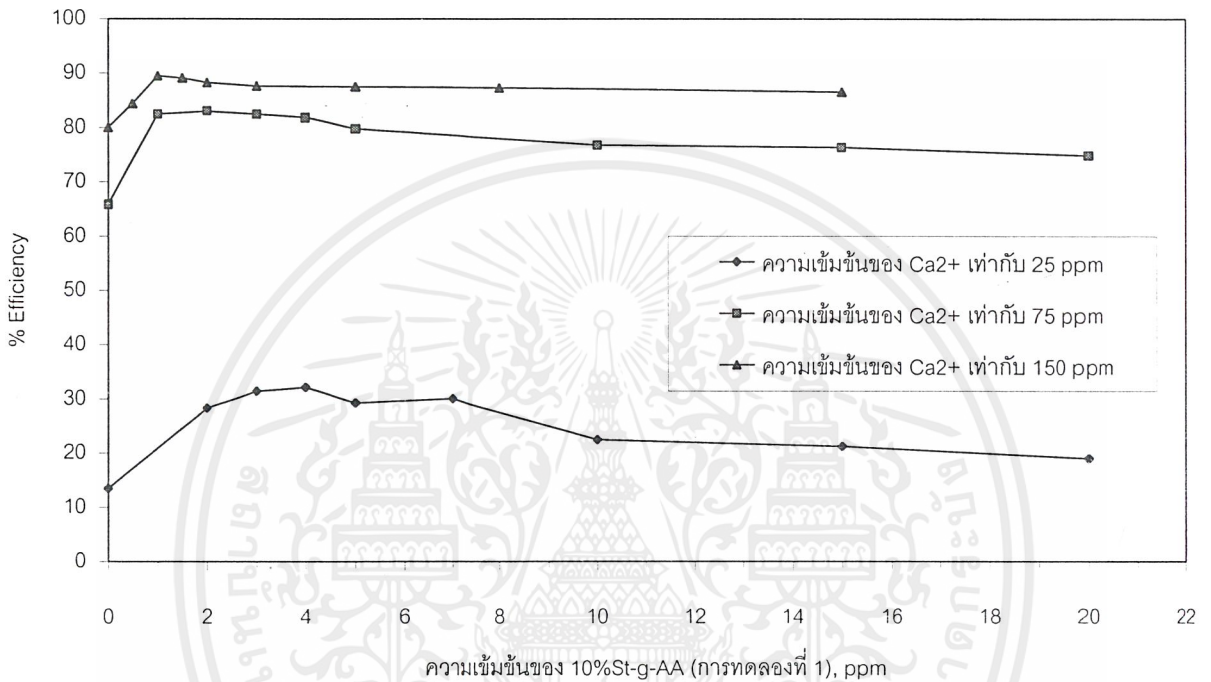


รูปที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนของเกลือแคลเซียมคลอไรด์

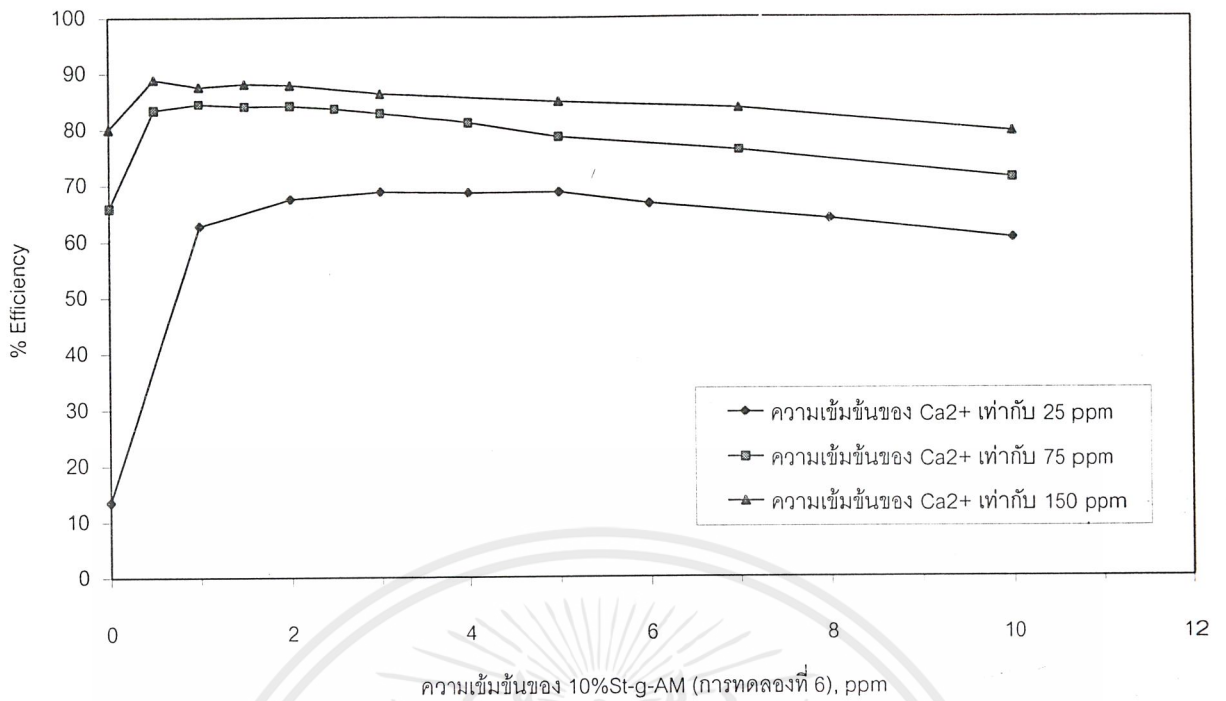
จากรูปที่ 4.4 พบว่าการใช้เกลือแคลเซียมคลอไรด์สามารถทำให้สารแขวนลอยดินขาวเกิดการตกตะกอนได้ อธิบายได้ว่าเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ที่มีประจุบวกซึ่งสามารถถูกดูดซับบนพื้นผิวของอนุภาคดินขาวที่มีประจุลบได้ ทำให้แรงผลักระหว่างอนุภาคลดลงแล้วเกิดการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนตกตะกอนลงมาได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจาก ความเข้มข้นต่าง ๆ ก็พบว่าประสิทธิภาพการตกตะกอนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 25-75 ppm จากนั้นก็จะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และเริ่มคงที่ ดังนั้นความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนที่เลือกเพื่อนำไปใช้ในการศึกษา คือ 25 75 และ 150 ppm ซึ่งครอบคลุมประสิทธิภาพการตกตะกอนทั้งหมด

4.7.3 การศึกษาสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่ง เมื่อใช้ร่วมกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์

การทดลองในส่วนนี้ทำการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่ง ด้วยอะคริลิกมอนอเมอร์และอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ที่มีปริมาณของแบ็งไฮโดรไลซ์เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ (flocculant) โดยใช้ร่วมกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของแคลเซียมไอออน เท่ากับ 25 75 และ 150 ppm



รูปที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AA
เมื่อใช้ร่วมกับแคลเซียมไอออนที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ



รูปที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AM เมื่อใช้ร่วมกับแคลเซียมไอออนที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าพอลิเมอร์รวมแบบตอกิ่งด้วยอะคริลิกและอะคริลาไมด์มอนอเมอร์จะมีประสิทธิภาพในการช่วยการเร่งตกตะกอนได้ดีเมื่อใช้ร่วมกับเกลือแคลเซียม ทั้งนี้อธิบายได้ว่าแคลเซียมไอออนจะถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของอนุภาคสารแขวนลอย มีผลให้แรงผลักระหว่างอนุภาคลดลง ส่วนพอลิเมอร์ที่เติมลงไปก็ถูกแคลเซียมที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาคสารแขวนลอยจับไว้ด้วยพันธะที่แข็งแรงแล้วทำให้เกิดเป็นลักษณะสะพานของพอลิเมอร์เชื่อมระหว่างอนุภาคขึ้น โดยส่วนของสายโซ่พอลิเมอร์ที่ถูกจับไว้ด้วยแคลเซียมนั้นคือหมู่ที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูงไม่ว่าจะเป็นหมู่เอไมด์ (กรณีที่ใช้พอลิเมอร์รวมของอะคริลาไมด์มอนอเมอร์) หมู่คาร์บอกซิเลต (กรณีที่ใช้พอลิเมอร์รวมของอะคริลิกมอนอเมอร์) และหมู่ไฮดรอกซิล (ที่มีอยู่บนโมเลกุลแป้ง) ดังนั้นจึงทำให้เกิดการรวมเป็นกลุ่มก้อนของสารแขวนลอยขนาดใหญ่แล้วตกตะกอนลงมาได้ง่ายยิ่งขึ้น

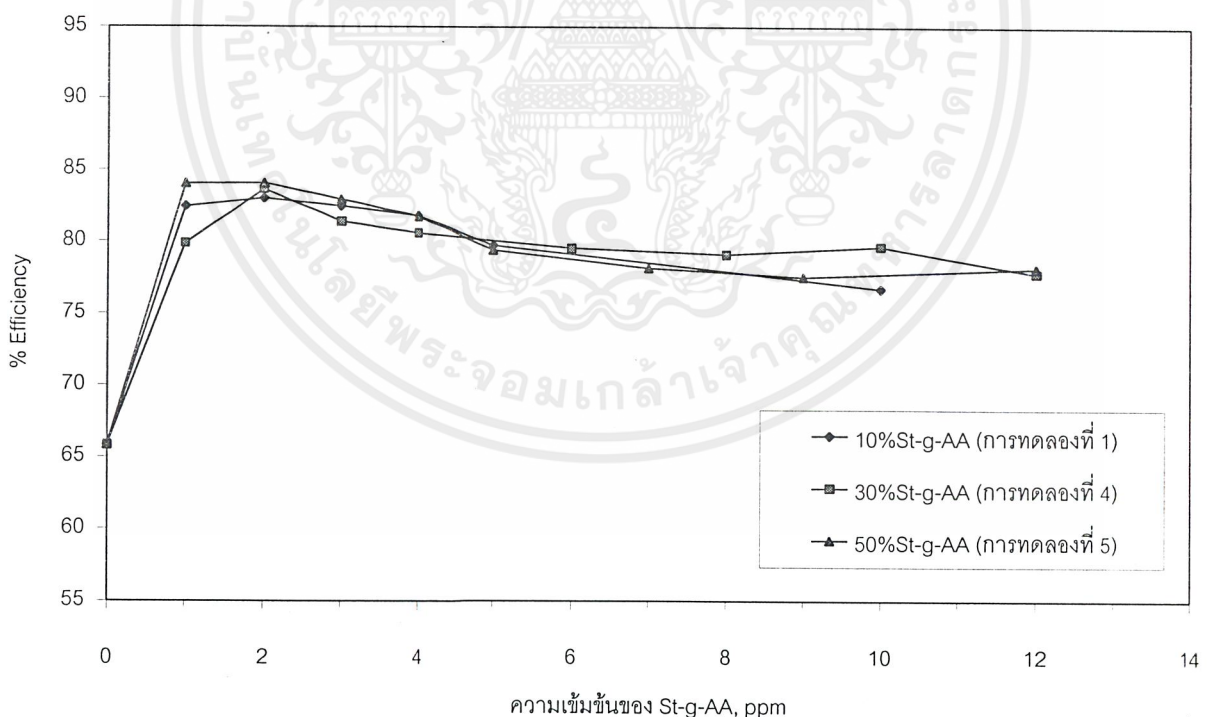
นอกจากนี้ในขณะที่ทำการทดลองยังสังเกตพบว่าเมื่อความเข้มข้นของพอลิเมอร์รวมแบบตอกิ่งเพิ่มขึ้น กลุ่มก้อนของสารแขวนลอยที่ตกลงมาก็มีขนาดใหญ่มากขึ้นตามเช่นกัน อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนกลับมีแนวโน้มลดลง อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการทดสอบด้วยอุปกรณ์จาร์เทสต์เริ่มต้นจะทำการปั่นกวนเร็วเพื่อให้สารช่วยเร่งการตกตะกอนกระจายตัวได้อย่างทั่วถึงในสารแขวนลอย จากนั้นก็ทำการปั่นกวนช้าเพื่อให้พอลิเมอร์ถูกดูดซับและสารแขวนลอยเกิดการจับกลุ่มกันได้เต็มที่ แล้วจึงตกตะกอนลงมาเมื่อหยุดการปั่นกวน แต่ในกรณีที่มีความเข้มข้นของพอลิเมอร์รวม

แบบต้อกิงมาก สารแขวนลอยจะสามารถจับกลุ่มกันได้อย่างรวดเร็วและมีขนาดใหญ่จนตกตะกอนลงมาในขณะที่ทำการปั่นช้าอยู่ ดังนั้นจึงยังไม่เกิดการจับกลุ่มกันอย่างเต็มที่และทำให้มีสารแขวนลอยบางส่วนเหลืออยู่ได้

สำหรับการพิจารณาความเข้มข้นต่าง ๆ ของแคลเซียมไอออนที่ใช้พบว่าเมื่อเพิ่มมากขึ้นแล้วประสิทธิภาพการตกตะกอนก็เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากมีการจับพอลิเมอร์ไว้บนพื้นผิวของอนุภาคสารแขวนลอยได้มากขึ้นนั่นเอง โดยที่ความเข้มข้น 75 และ 150 ppm ประสิทธิภาพการตกตะกอนมีค่าสูงและไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนเท่ากับ 75 ppm

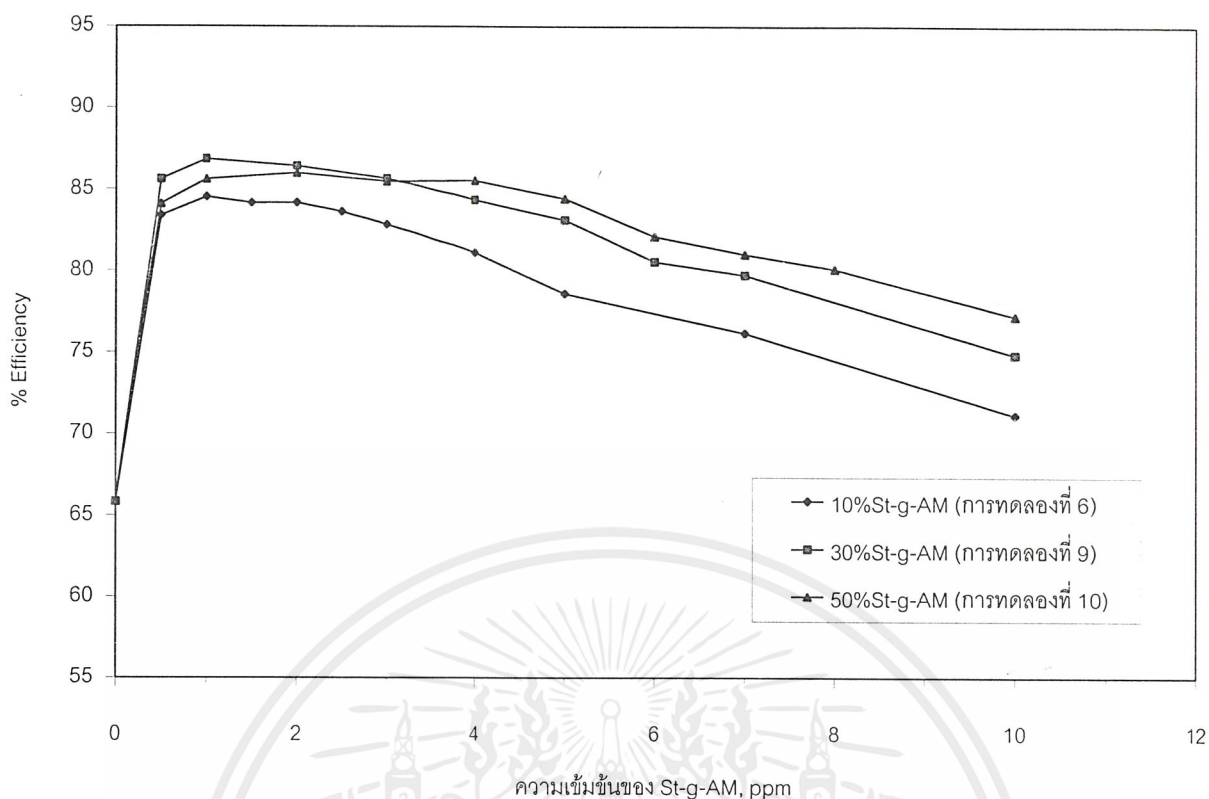
4.7.4 การศึกษาผลของปริมาณแป้งไฮโดรไลซ์ที่มีต่อสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของพอลิเมอร์ร่วมแบบต้อกิง

การศึกษานี้ทำการทดลองโดยนำพอลิเมอร์ร่วมแบบต้อกิงด้วยอะคริลิกมอนอเมอร์ และอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ที่มีปริมาณแป้งไฮโดรไลซ์ต่าง ๆ มาใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอนทุติยภูมิ (floculant) สารแขวนลอยดินขาวซึ่งมีแคลเซียมไอออนความเข้มข้นเท่ากับ 75 ppm ทำหน้าที่เป็นสารเร่งการตกตะกอนปฐมภูมิ (coagulant) รวมอยู่ด้วย



รูปที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนของ St-g-AA ที่มีปริมาณแป้งไฮโดรไลซ์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

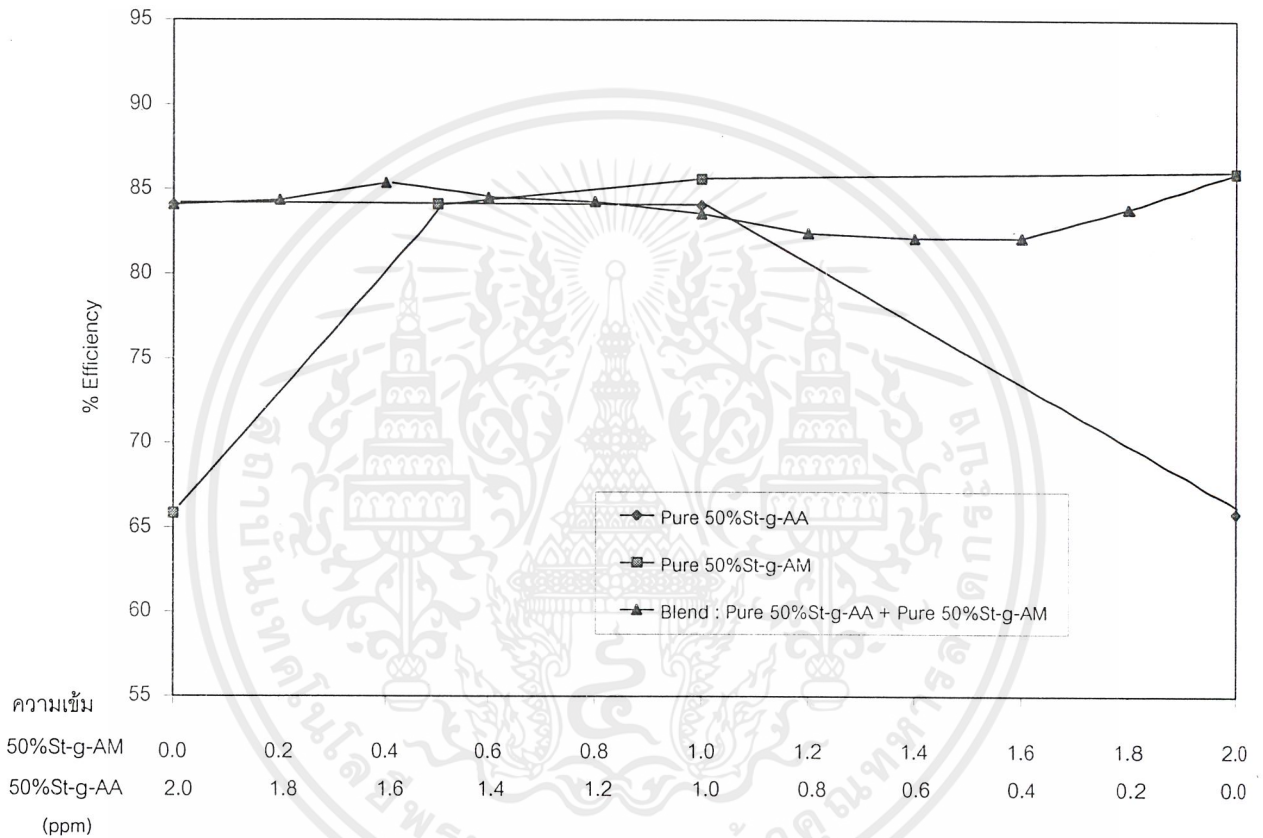


รูปที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนของ St-g-AM ที่มีปริมาณแบ่งไฮโดรไลซ์ต่าง ๆ

พิจารณาจากรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งด้วยมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดที่มีปริมาณแบ่งไฮโดรไลซ์ต่าง ๆ มีประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน สามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณแบ่งไฮโดรไลซ์แม้จะทำให้มีปริมาณสายโซ่กิ่งที่มีหมู่ฟังก์ชัน (ได้แก่หมู่คาร์บอกซิเลตสำหรับการตอกิ่งด้วยอะคริลิกมอนอเมอร์ และหมู่เอไมด์สำหรับการตอกิ่งด้วยอะคริลามิเดมอนอเมอร์) ลดลง แต่ในขณะเดียวกันก็มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลที่มีอยู่บนโมเลกุลของแบ่งเพิ่มขึ้นด้วย โดยหมู่ไฮดรอกซิลนี้อาจเกิดพันธะที่แข็งแรงกับแคลเซียมไอออนที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาคสารแขวนลอยได้ดีไม่ต่างไปจากหมู่คาร์บอกซิเลตหรือหมู่เอไมด์ที่ลดลงไป นอกจากนี้ยังเป็นการแสดงด้วยว่าความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (เปรียบเทียบจากค่าความหนืดที่แท้จริง) และปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่ประจุลบ (กรณีการตอกิ่งด้วยอะคริลิกมอนอเมอร์) ของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน ดังนั้นการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่าสามารถนำพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งที่มีปริมาณแบ่งไฮโดรไลซ์สูง (50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมอนอเมอร์) มาใช้ในการช่วยเร่งการตกตะกอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปริมาณการใช้ที่เหมาะสมสำหรับพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งของมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดคือ 2 ppm

4.7.5 การทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนเมื่อใช้พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่ง ทั้งสองชนิดผสมกัน

การทดลองนี้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนเมื่อใช้พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งด้วยอะคริลิกมอนอเมอร์และอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ที่มีปริมาณแบงไฮโดรไลซ์เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ผสมกัน สภาวะในการทดลองมีความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนเท่ากับ 75 ppm แล้วให้มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของพอลิเมอร์ร่วมทั้งสองชนิดในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยความเข้มข้นรวมของพอลิเมอร์ร่วมทั้งสองมีค่าคงที่เท่ากับ 2 ppm



รูปที่ 4.9 แสดงประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนเมื่อใช้ 50%St-g-AA ผสมกับ 50%St-g-AM ในอัตราส่วนต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อนำพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งด้วยอะคริลิกมอนอเมอร์และอะคริลาไมด์มอนอเมอร์มาใช้ร่วมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วประสิทธิภาพในการช่วยเร่งการตกตะกอนไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน แสดงว่าในสภาวะการทดลองนี้หมู่ฟังก์ชันทั้งสองชนิดคือหมู่คาร์บอกซิลेटที่มาจากอะคริลิกมอนอเมอร์ และหมู่เอไมด์ที่มาจากอะคริลาไมด์มอนอเมอร์มีความสามารถในการช่วยเร่งการตกตะกอนใกล้เคียงกัน โดยค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของน้ำส่วนใสด้านบนหลังทำการตกตะกอนสารแขวนลอยมีค่าประมาณ 0.25 หรือเทียบเป็นค่าความขุ่นได้ประมาณ 104 NTU

หมายเหตุ สำหรับข้อมูลผลการทดลองทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน
แสดงไว้ในภาคผนวก จ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการสังเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่ง 2 ชนิดคือแป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริโมนอเมอร์ และแป้งไฮโดรไลซ์อะคริลาไมด์มอนอเมอร์ โดยใช้กระบวนการโพนพอลิเมอไรเซชันเพื่อนำไปใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอน สามารถสรุปผลการทดลองได้เป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

5.1 การเตรียมแป้งไฮโดรไลซ์จากแป้งมันสำปะหลัง

จากการทดลองสามารถเตรียมแป้งไฮโดรไลซ์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง ด้วยการนำแป้งมันสำปะหลังมาทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายกรด โดยผลของการถูกไฮโดรไลซ์นี้ตรวจสอบด้วยเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟี ซึ่งแสดงได้จากเวลารีเทนชัน (retention time) ของแป้งไฮโดรไลซ์มีค่ามากกว่าแป้งมันสำปะหลัง

5.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งของแป้งไฮโดรไลซ์

การศึกษาผลของปริมาณของสารริเริ่มที่มีต่อปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันพบว่าปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมทั้งสองชนิดคือ 0.25 มิลลิโมล เพราะการใช้ปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งที่สังเคราะห์ได้มีส่วนที่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่แล้วทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ทั้งหมด ส่วนปริมาณแป้งไฮโดรไลซ์ที่ใช้จะมีผลต่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยาและสมบัติการละลายน้ำของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งที่สังเคราะห์ได้ คือหากใช้ปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นจะทำให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยานานขึ้น และความสามารถในการละลายน้ำลดลง

5.3 การตรวจสอบสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งที่สังเคราะห์ได้

- การตอกิ่งของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้อาจแสดงได้จากผลการตรวจสอบด้วยเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟีที่พบว่าพิกของพอลิเมอร์ร่วมปรากฏก่อนพิกของแป้งไฮโดรไลซ์หรือก็คือเกิดการตอกิ่งบนโมเลกุลของแป้งไฮโดรไลซ์แล้วทำให้น้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น
- หมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่ในโครงสร้างของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งตรวจสอบได้ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งด้วยอะคริลิกมอนอเมอร์พบหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญคือหมู่คาร์บอกซิเลต ($-\text{COO}$) และพบหมู่เอไมด์ ($-\text{CONH}_2$) ในพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งด้วยอะคริลาไมด์มอนอเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากการหาค่าความหนืดที่แท้จริงสามารถบ่งบอกถึงแนวโน้มของน้ำหนักโมเลกุลและลักษณะการตอกของพอลิเมอร์ร่วมที่สังเคราะห์ได้ กล่าวคือเมื่อมีการเพิ่มปริมาณแป้งไฮโดรไลซ์แล้วจะทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ร่วมลดลงหรือมีปริมาณของสายโซ่กิ่งที่ต่ออยู่บนโมเลกุลของแป้งน้อยลงนั่นเอง ซึ่งสังเกตจากการลดลงของค่าความหนืดที่แท้จริง นอกจากนี้กรณีการตอกด้วยอะคริลิกมอนอเมอร์ยังสามารถยืนยันแนวโน้มดังกล่าวได้จากการลดลงของปริมาณของหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบด้วย

5.4 การทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน

จากสภาวะของการทดลองที่ใช้สารแขวนลอยดินขาวเข้มข้น 0.15 เปอร์เซ็นต์เป็นสารตัวอย่างพบว่า พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกที่สังเคราะห์ได้ไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอนปฐมภูมิ (coagulant) ได้โดยตรงเพราะมีประสิทธิภาพการตกตะกอนไม่ดี ต้องนำมาใช้ทำหน้าที่เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอนทุติยภูมิ (flocculant) แทน โดยในการทดลองได้เลือกเกลือแคลเซียมคลอไรด์มาทำหน้าที่เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอนปฐมภูมิ ซึ่งจะช่วยให้เกิดกลไกการตกตะกอนแบบสะพานเชื่อมที่มีแคลเซียมไอออนช่วยจับโมเลกุลของพอลิเมอร์ร่วมไว้บนพื้นผิวของอนุภาคสารแขวนลอย และจากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่าที่ความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนเท่ากับ 75 ppm และพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกที่มีปริมาณของแป้งไฮโดรไลซ์เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้น 2 ppm จะสามารถช่วยทำให้สารแขวนลอยดินขาวตกตะกอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์) โดยที่พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน และสำหรับการนำพอลิเมอร์ร่วมทั้งสองชนิดมาใช้ร่วมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ นั้นจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการตกตะกอน

จากโครงการพิเศษนี้ผู้ทำการทดลองมีข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบตอกด้วยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบโฟมแม้จะช่วยทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์มอนอเมอร์ที่เปลี่ยนไปสูง แต่การควบคุมปฏิกิริยาที่เป็นแบบความเร่งด้วยตัวเองยังทำได้ยากเช่น ความหนืดของระบบ ความเข้มข้นของระบบ ความร้อนที่เกิดขึ้น และปริมาณของก๊าซที่ถูกปลดปล่อยออกมาเป็นต้น ซึ่งจะมีผลต่อความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ที่ได้รวมทั้งการขยายปริมาณการผลิตเพื่อนำไปใช้จริง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและปรับปรุงวิธีการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการนี้เพื่อให้มีความเข้าใจ และสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

2. ศึกษาและทดลองเพิ่มเติมเกี่ยวกับการต่อกิ่งได้ของพอลิเมอร์ร่วมที่สังเคราะห์ เช่น ตรวจสอบด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (NMR)
3. การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งอาจเกิดไฮโมพอลิเมอร์จากมอนอเมอร์ที่ใช้รวมอยู่ด้วยกัน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงปริมาณของไฮโมพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นนี้รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการหาวิธีแยกออกจากกัน เพราะจะมีผลต่อสมบัติต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน
4. พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งที่สังเคราะห์ได้ในโครงการพิเศษนี้มีเพียงหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบและที่เป็นกลาง แต่ยังมีพอลิเมอร์ชนิดที่มีประจุบวกซึ่งมีสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนได้เช่นกัน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับพอลิเมอร์ชนิดที่มีประจุบวก รวมถึงการนำพอลิเมอร์ที่มีประจุทั้งสองชนิดมาใช้ร่วมกันในการทำหน้าที่เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอนซึ่งน่าจะทำให้มีประสิทธิภาพในการตกตะกอนสูงขึ้น นอกจากนี้ควรทำการศึกษาสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนสารแขวนลอยชนิดอื่นเพิ่มเติมนอกเหนือจากดินขาว เพื่อเป็นการศึกษาเปรียบเทียบกลไกการตกตะกอนและความสามารถของพอลิเมอร์ที่ใช้ รวมทั้งการนำไปใช้ทดสอบการนำทิ้งจริงจากแหล่งต่าง ๆ ด้วย
5. ศึกษาเพิ่มเติมถึงสถานะของสารแขวนลอย เช่น ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) และความเข้มข้นของเกลือชนิดต่าง ๆ ที่มีละลายอยู่เป็นต้น รวมทั้งวิธีการทดสอบการตกตะกอนด้วยอุปกรณ์จาร์เจสต์ เช่น ความเร็วรอบที่ใช้ในการปั่นกวนเร็วหรือช้า และระยะเวลาที่ทิ้งให้สารแขวนลอยเกิดการรวมกลุ่มตกตะกอน เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการสร้างตะกอนด้วย

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติของสารเคมีบางชนิดที่ใช้ในโครงการงานพิเศษ

1. อะคริลิกมอนอเมอร์ (acrylic acid monomer)

สูตรโมเลกุล	CH_2CHCOOH
น้ำหนักโมเลกุล	72.06
สถานะและลักษณะทางกายภาพ (ณ อุณหภูมิห้อง)	ของเหลว ใส ไม่มีสี และมีกลิ่นฉุน
ความบริสุทธิ์ (ตรวจสอบด้วย GC)	อย่างน้อย 98 %
ความหนาแน่น (20 °C)	1.046 g/cm ³
สี (ASTM D-1209)	ไม่เกิน 25
ปริมาณน้ำ (ASTM D-1364)	ไม่เกิน 1.5 %
ปริมาณสารยับยั้ง (inhibitor) (ASTM D-3125)	200 ± 20 ppm
อุณหภูมิ ณ จุดเยือกแข็ง	ประมาณ 13 °C
อุณหภูมิ ณ จุดเดือด	141 °C

2. อะคริลามิไนด์มอนอเมอร์ (acrylamide monomer)

สูตรโมเลกุล	$\text{CH}_2\text{CHCONH}_2$
น้ำหนักโมเลกุล	71.08
สถานะและลักษณะทางกายภาพ (ณ อุณหภูมิห้อง)	ผลึกของแข็งละเอียด สีขาว
ความบริสุทธิ์ (ตรวจสอบด้วย GC)	อย่างน้อย 98 %
สี (APHA)	ไม่เกิน 20 (10% solution)
ปริมาณน้ำ	ไม่เกิน 2 %
ปริมาณเหล็ก	ไม่เกิน 0.2 ppm
ปริมาณทองแดง	ไม่เกิน 0.2 ppm
อุณหภูมิ ณ จุดหลอมเหลว	84.5 ± 0.3 °C

ภาคผนวก ข

การตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุลของสารมาตรฐาน ด้วยเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโตกราฟี

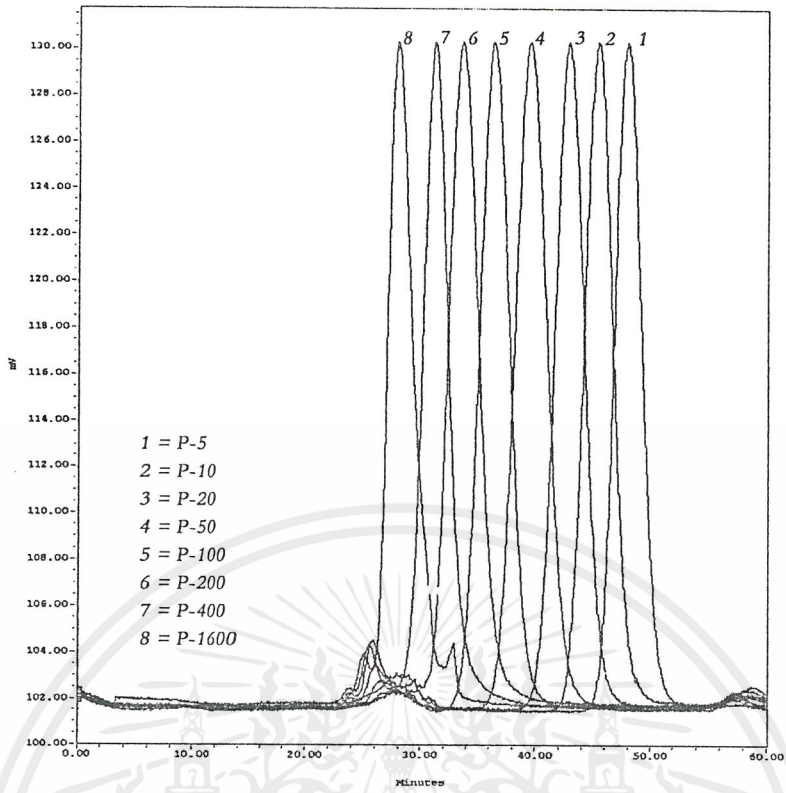
สารมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุลของสารตัวอย่างที่มีสมบัติละลายน้ำได้ที่
ใช้ในโครงการพิเศษนี้คือ Pollulan Standard Kit P-82 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Pollulan Standard	Molecular Weight
P-5	5,800
P-10	12,200
P-20	23,700
P-50	48,000
P-100	100,000
P-200	186,000
P-400	380,000
P-1000	1,660,000

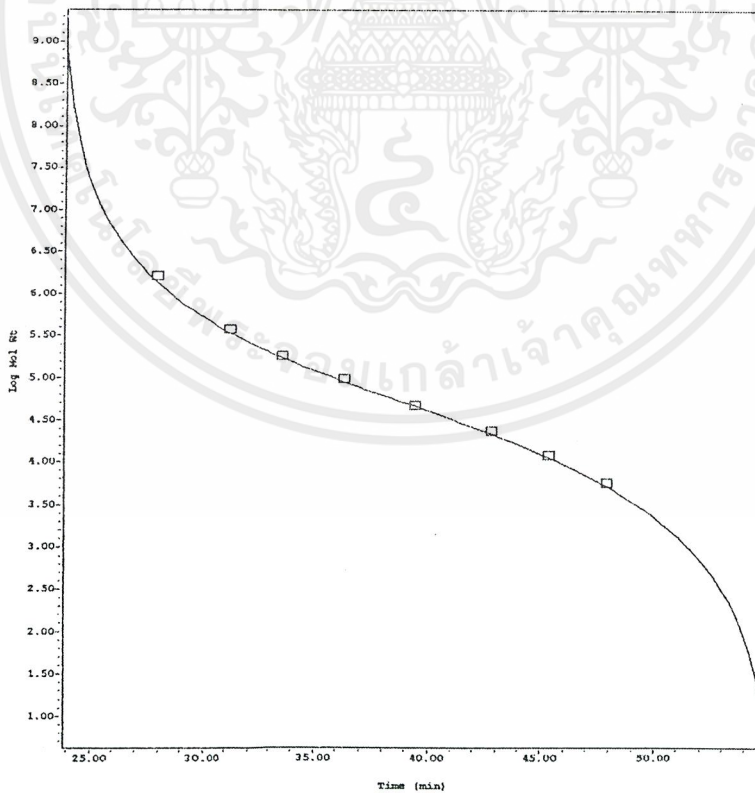
โดยโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานและ calibration curve แสดงดังรูปที่ ข.1 และ ข.2 ตาม

ลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 แสดงโครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน

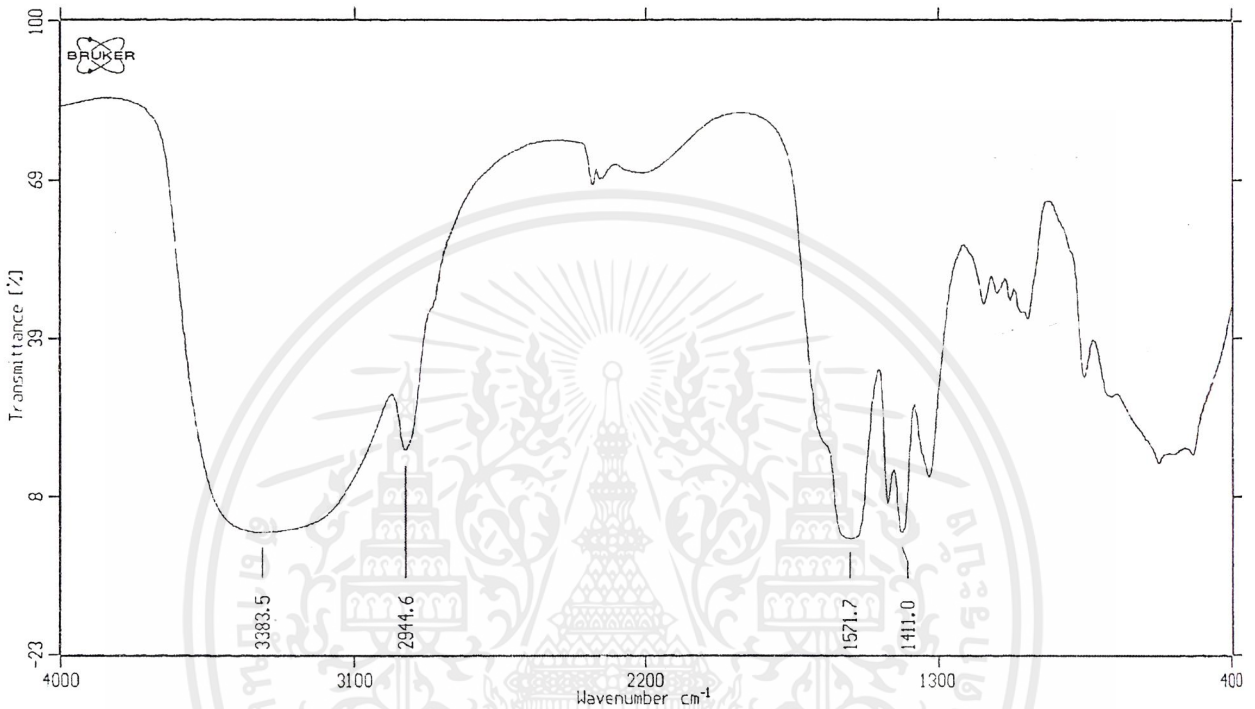


รูปที่ ข.2 แสดงกราฟมาตรฐาน (calibration curve)

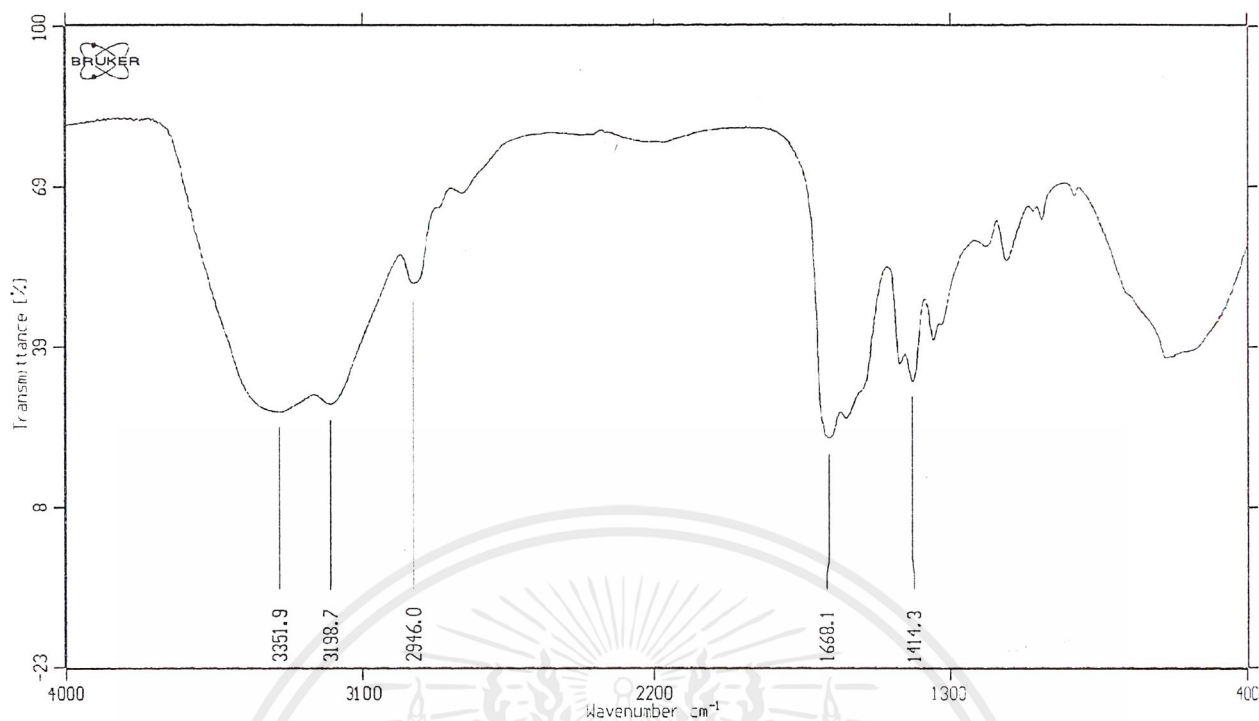
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

สเปกตรัมของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกึ่งที่สังเคราะห์ได้ที่ตรวจสอบด้วย
เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตเมทรี



รูปที่ ค.1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกึ่งของ
แป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริลิกมอนอเมอร์



รูปที่ ค.2 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์รวมแบบต่อกิ่งของ
 แป้งไฮโดรไลซ์กับอะครีลาไมด์มอนอเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุลโดยการวัดความหนืด

ถ้าพิจารณาการไหลของของเหลวในท่อทรงกระบอกอันหนึ่ง จะพบว่าของเหลวที่อยู่ตรงจุดศูนย์กลางของท่อจะไหลเร็วที่สุด และไหลช้าลงเมื่อห่างจากจุดศูนย์กลางมากขึ้น ดังรูปที่ ง.1



รูปที่ ง.1 การไหลของของเหลวในท่อทรงกระบอก

ถ้าการไหลของของเหลวประกอบด้วยชั้นของของเหลวหลาย ๆ ชั้นไหลผ่านหน้าตัดขวาง การไหลของของเหลวภายในท่อจะมีความเร็วไม่เท่ากัน เนื่องจากแรงเสียดทานภายในแต่ละชั้นของของเหลวมีค่าไม่เท่ากัน คุณสมบัติที่บอกถึงแรงต้านทานของการไหลของของเหลวคือ ความหนืด โดยนิยามว่า ความหนืดสัมบูรณ์ (absolute viscosity, η) ของของเหลวคือแรงที่ทำให้พื้นที่ 1 หน่วยเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 หน่วยเมื่อเทียบกับระยะห่างออกไป

เนื่องจากการหาความหนืดสัมบูรณ์ของของเหลวกระทำได้ยาก ในทางปฏิบัติจึงหาเป็นค่าสัมพัทธ์กับของเหลวอ้างอิง เรียกว่าความหนืดสัมพัทธ์ (relative viscosity, η_r)

$$\eta_r = \eta_c / \eta_o \quad \text{①}$$

$$\eta_r = \rho_c t_c / \rho_o t_o \quad \text{②}$$

เมื่อ η_c = ความหนืดของสารละลาย

η_o = ความหนืดของตัวทำละลาย

ρ_c = ความหนาแน่นของสารละลาย

ρ_o = ความหนาแน่นของตัวทำละลาย

t_c = เวลาที่สารละลายไหลผ่านจุดจุดหนึ่ง

t_o = เวลาที่ตัวทำละลายไหลผ่านจุดจุดหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับรูปร่าง น้ำหนักโมเลกุล และแรงกระทำระหว่างพอลิเมอร์กับตัวทำละลาย ความหนืดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากตัวทำละลายนี้เรียกว่า ความหนืดจำเพาะ (specific viscosity, η_{sp}) โดย

$$\eta_{sp} = (\eta_c - \eta_o) / \eta_o = \eta_r - 1 \quad (3)$$

ความหนืดจำเพาะจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น และสามารถใช้อัตราส่วนของความหนืดจำเพาะต่อความเข้มข้นของพอลิเมอร์ หรือความหนืดรีดิวซ์ (reduced viscosity, η_{sp} / c) ในการหาน้ำหนักโมเลกุลตามสมการของ Staudinger ดังนี้

$$\eta_{sp} / c = K_m M \quad (4)$$

เมื่อ M = น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์

K_m = ค่าคงที่เอมพิริคัล ซึ่งหาได้จากการวัดน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ด้วยสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ

อย่างไรก็ตามสมการของ Staudinger นี้ใช้ได้กับพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ ประมาณ 2 – 3000 เท่านั้นเพราะค่า K_m จะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความหนืดรีดิวซ์ขึ้นกับความเข้มข้นด้วย ทำให้การวัดความหนืดสัมพันธ์ของสารละลายที่เจือจางมาก ๆ มีความผิดพลาดสูง ฉะนั้นค่าความหนืดรีดิวซ์ของสารละลายที่เจือจางมาก ๆ จึงได้จากการต่อกราฟที่พล็อตระหว่างความหนืดรีดิวซ์กับความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์

ถ้าพิจารณาสมการ ③ และจัดรูปใหม่ได้

$$\eta_r = 1 + \eta_{sp} \quad (5)$$

$$\ln \eta_r = \ln (1 + \eta_{sp}) \quad (6)$$

สำหรับสารละลายที่เจือจางมาก ๆ ค่าความหนืดรีดิวซ์มีค่าน้อยมาก ฉะนั้น $\ln (1 + \eta_{sp})$ สามารถกระจายเป็นอนุกรมได้

$$\ln \eta_r = \eta_{sp} [1 - (\eta_{sp} / 2) + (\eta_{sp}^2 / 3) \dots] \quad (7)$$

หรือ $(\ln \eta_r) / c = \eta_{sp} [1 - (\eta_{sp} / 2) + (\eta_{sp}^2 / 3) \dots] / c \quad (8)$

และ $\lim (\ln \eta_r) / c = \lim (\eta_{sp} / c) = [\eta] \text{ เมื่อ } c \rightarrow 0 \quad (9)$

และเรียกความหนืดที่ได้จากการต่อกราฟของ $(\ln \eta_r) / c$ หรือ (η_{sp} / c) กับ c ไปที่ $c=0$ นี้ว่า ความหนืดแท้จริง (intrinsic viscosity, $[\eta]$) ซึ่งสามารถใช้ความหนืดแท้จริงนี้ในการหาน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ ได้โดยใช้สมการ Mark-Houwink-Sakurada ดังนี้

$$[\eta] = KM^a \quad (10)$$

เมื่อ a และ K คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับระบบพอลิเมอร์และตัวทำละลาย โดยปกติ a มีค่าอยู่ในช่วง $1.0 - 1.5$ โดยจะเปลี่ยนไปเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามสำหรับพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง $10^4 - 10^7$ สามารถใช้ค่า a เดียวกันได้

สำหรับโครงการพิเศษนี้ได้ทำการหาค่าความหนืดที่แท้จริงของพอลิเมอร์รวมแบบต่อกิ่งเพื่อดูแนวโน้มของน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งสามารถแสดง flow time ที่วัดได้ ผลการคำนวณและกราฟดังต่อไปนี้

ตารางที่ ง.1 แสดง flow time และผลการคำนวณค่าความหนืดของการทดลองที่ 1

ความเข้มข้น พอลิเมอร์, %	t_c, s		t_c เฉลี่ย, s	η_r	η_{sp}	$(\ln \eta_r)/C$	η_{sp}/C
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2					
0.0061	33.44	33.41	33.43	1.352	0.352	49.29	57.54
0.0123	43.47	43.31	43.39	1.756	0.756	45.94	61.68
0.0245	65.72	65.81	65.77	2.661	1.661	39.95	67.79
0.0490	118.03	117.91	117.97	4.773	3.773	31.90	77.00

หมายเหตุ ทำการทดลอง ณ อุณหภูมิ $27^\circ C$ และ t_c มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.72 วินาที

ตารางที่ ง.2 แสดง flow time และผลการคำนวณค่าความหนืดของการทดลองที่ 4

ความเข้มข้น พอลิเมอร์, %	t_c , s		t_c เฉลี่ย, s	η_r	η_{sp}	$(\ln \eta_r)/C$	η_{sp}/C
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2					
0.0071	33.75	33.91	33.83	1.381	0.381	45.29	53.45
0.0143	47.75	47.44	47.60	1.943	0.943	46.60	66.15
0.0285	77.66	77.47	77.57	3.166	2.166	40.44	76.00
0.0570	160.34	160.47	160.41	6.547	5.547	32.97	97.32

หมายเหตุ ทำการทดลอง ณ อุณหภูมิ 28 °C และ t_0 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.50 วินาที

ตารางที่ ง.3 แสดง flow time และผลการคำนวณค่าความหนืดของการทดลองที่ 5

ความเข้มข้น พอลิเมอร์, %	t_c , s		t_c เฉลี่ย, s	η_r	η_{sp}	$(\ln \eta_r)/C$	η_{sp}/C
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2					
0.0077	30.37	30.78	30.58	1.254	0.254	29.45	33.05
0.0154	37.03	37.06	37.05	1.519	0.519	27.21	33.79
0.0308	51.72	51.79	51.76	2.123	1.123	24.48	36.52
0.0615	84.13	84.19	84.16	3.452	2.452	20.15	39.87

หมายเหตุ ทำการทดลอง ณ อุณหภูมิ 27 °C และ t_0 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.38 วินาที

ตารางที่ ง.4 แสดง flow time และผลการคำนวณค่าความหนืดของการทดลองที่ 6

ความเข้มข้น พอลิเมอร์, %	t_c , s		t_c เฉลี่ย, s	η_r	η_{sp}	$(\ln \eta_r)/C$	η_{sp}/C
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2					
0.0634	29.60	29.71	29.66	1.215	0.215	3.078	3.399
0.1267	34.25	34.38	34.32	1.406	0.406	2.691	3.207
0.2535	44.72	45.00	44.86	1.839	0.839	2.403	3.308
0.5069	73.75	73.75	73.75	3.023	2.023	2.182	3.990

หมายเหตุ ทำการทดลอง ณ อุณหภูมิ 25 °C และ t_0 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.40 วินาที

ตารางที่ ง.5 แสดง flow time และผลการคำนวณค่าความหนืดของการทดลองที่ 9

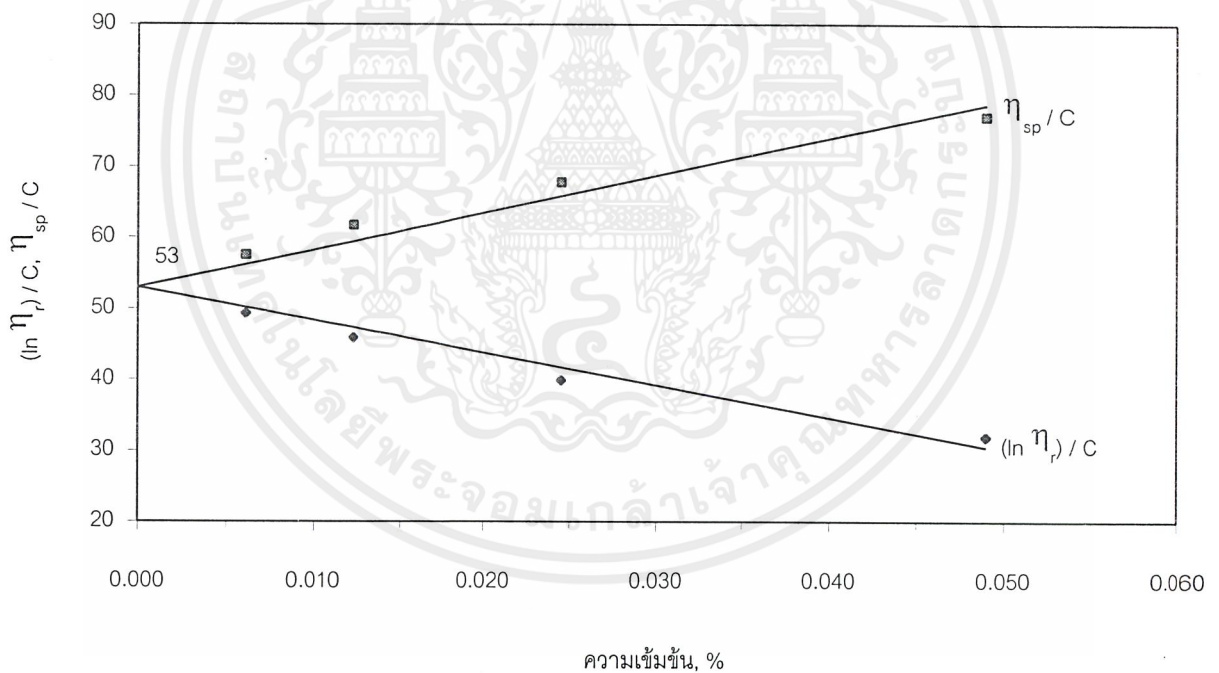
ความเข้มข้น พอลิเมอร์, %	t_c , s		t_c เฉลี่ย, s	η_r	η_{sp}	$(\ln \eta_r)/C$	η_{sp}/C
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2					
0.0628	27.09	27.00	27.05	1.090	0.090	1.374	1.435
0.1256	29.59	29.50	29.55	1.191	0.191	1.391	1.520
0.2511	34.90	34.88	34.89	1.406	0.406	1.358	1.618
0.5022	49.50	49.63	49.57	1.998	0.998	1.378	1.987

หมายเหตุ ทำการทดลอง ณ อุณหภูมิ 26 °C และ t_0 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.81 วินาที

ตารางที่ ง.6 แสดง flow time และผลการคำนวณค่าความหนืดของการทดลองที่ 10

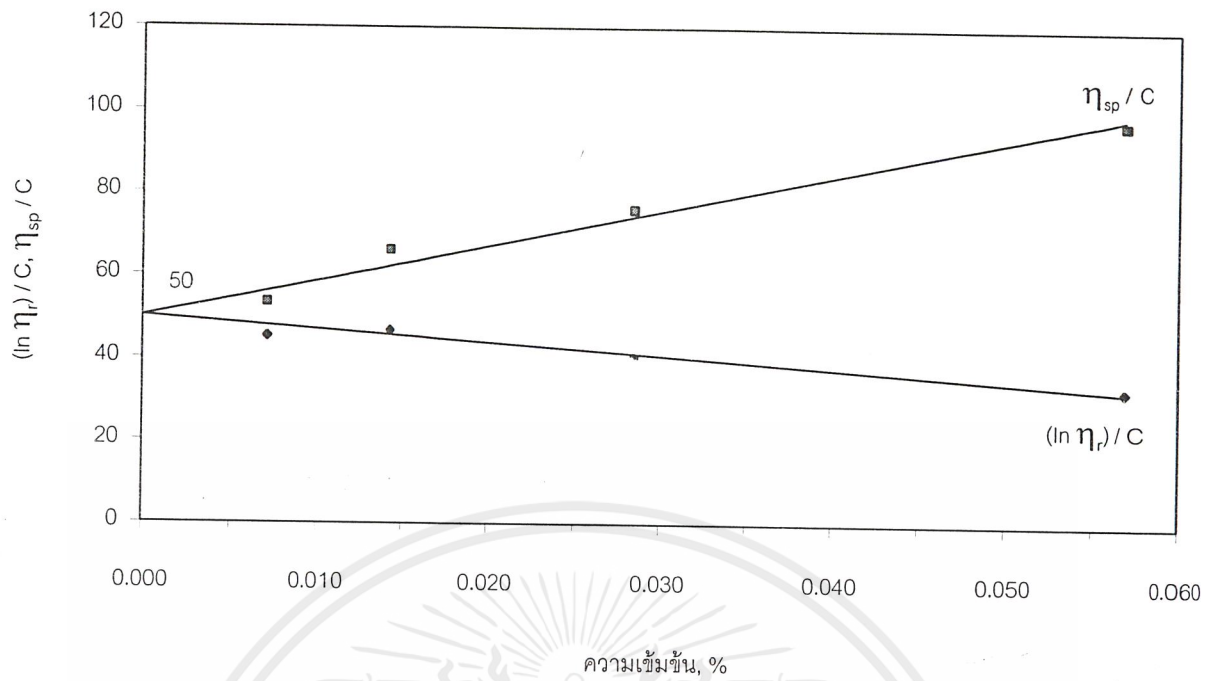
ความเข้มข้น พอลิเมอร์, %	t_c , s		t_c เฉลี่ย, s	η_r	η_{sp}	$(\ln \eta_r)/C$	η_{sp}/C
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2					
0.0627	26.69	26.59	26.64	1.060	0.060	0.930	0.958
0.1255	28.72	28.84	28.78	1.145	0.145	1.081	1.158
0.2510	33.62	33.66	33.64	1.339	0.339	1.162	1.349
0.5019	46.15	46.29	46.22	1.839	0.839	1.214	1.672

หมายเหตุ ทำการทดลอง ณ อุณหภูมิ 27 °C และ t_0 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.13 วินาที

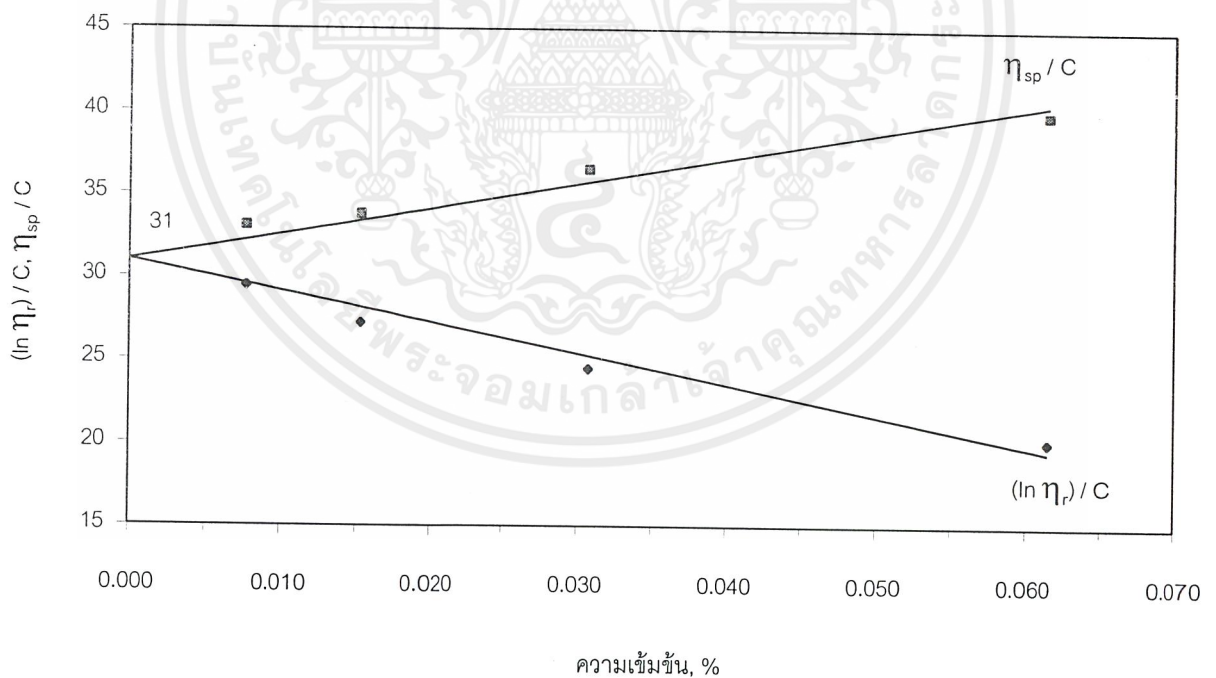


รูปที่ ง.2 แสดงกราฟการหาค่าความหนืดที่แท้จริงของการทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

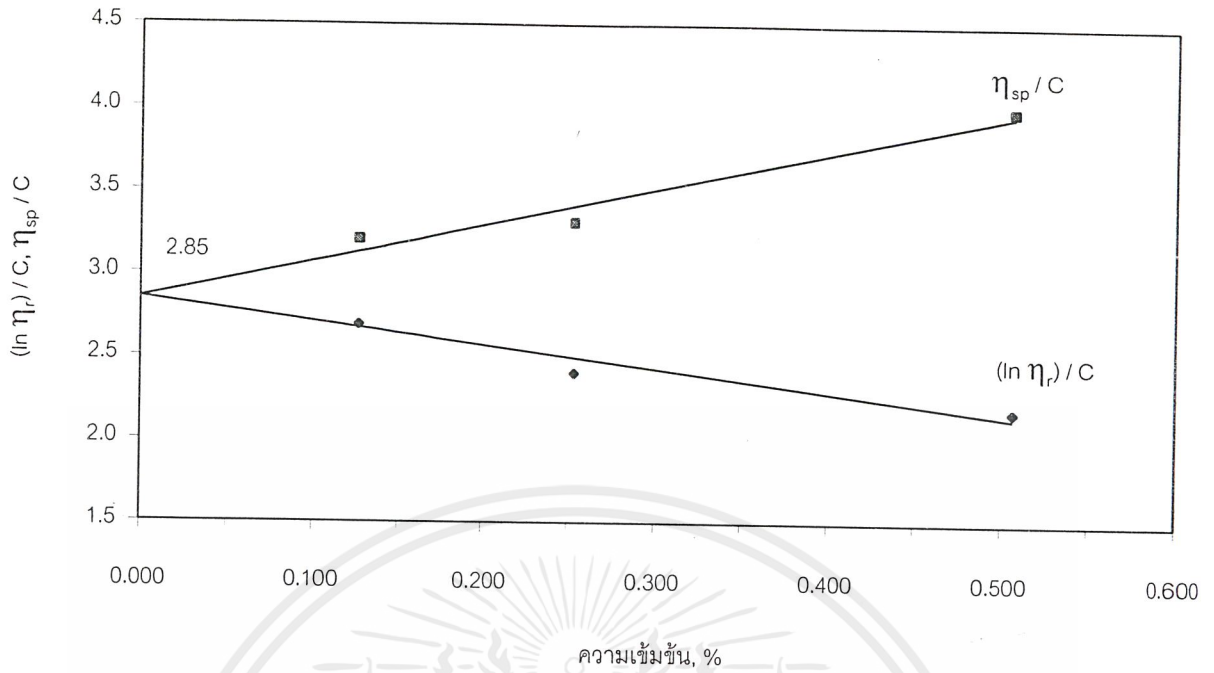


รูปที่ ๓.3 แสดงกราฟการหาค่าความหนืดที่แท้จริงของการทดลองที่ 4

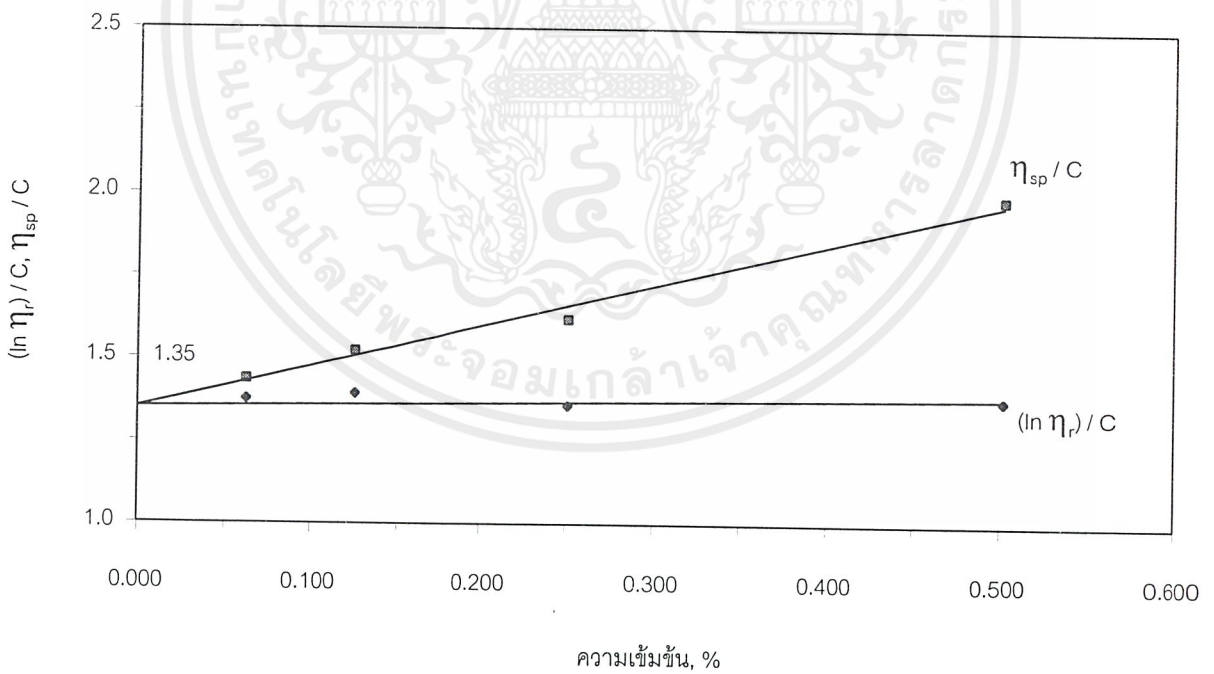


รูปที่ ๓.4 แสดงกราฟการหาค่าความหนืดที่แท้จริงของการทดลองที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

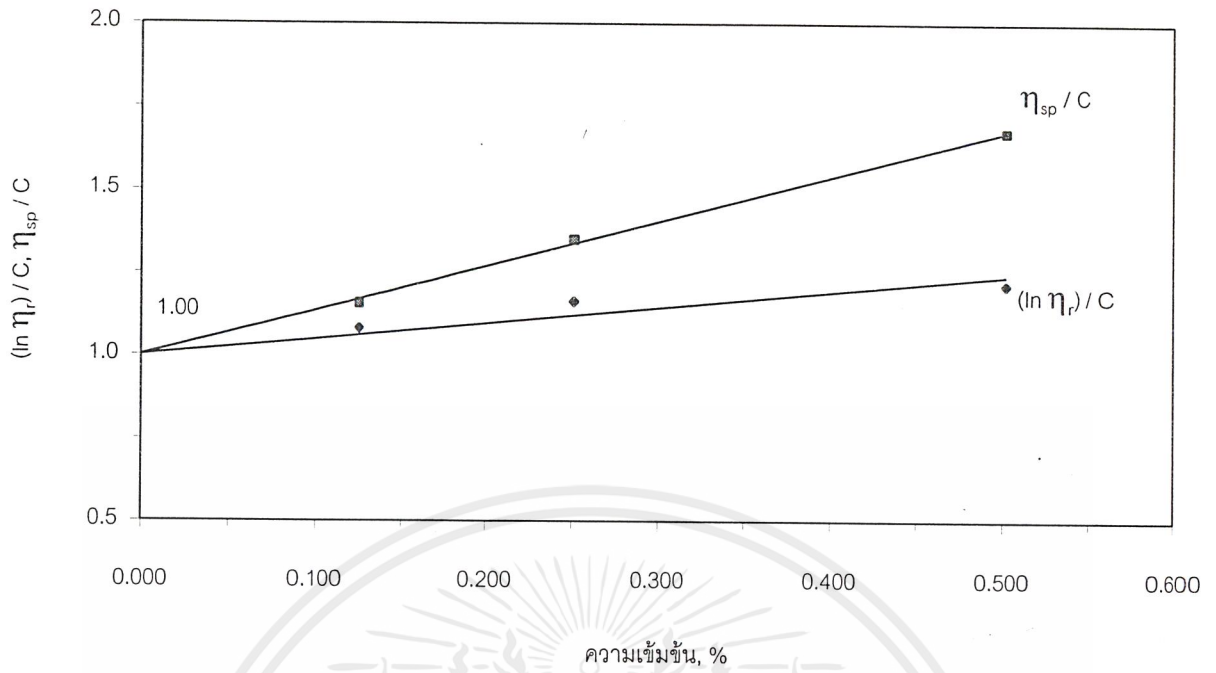


รูปที่ ๖.5 แสดงกราฟการหาค่าความหนืดที่แท้จริงของการทดลองที่ 6

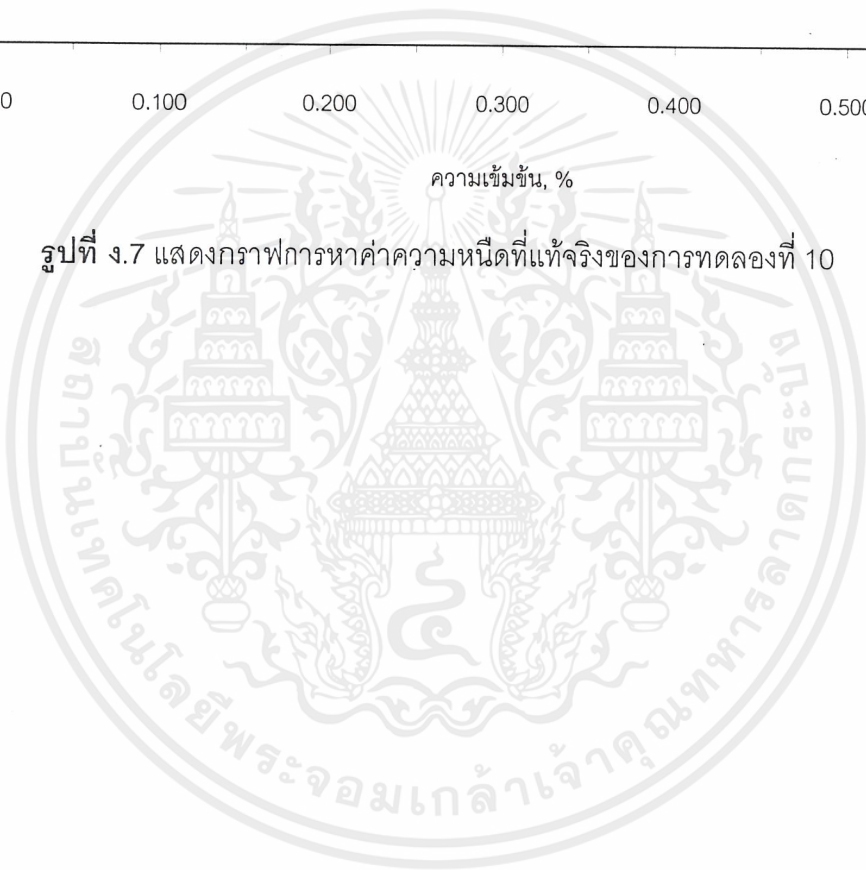


รูปที่ ๖.6 แสดงกราฟการหาค่าความหนืดที่แท้จริงของการทดลองที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๗.๗ แสดงกราฟการหาค่าความหนืดที่แท้จริงของการทดลองที่ 10



ภาคผนวก จ

การหาปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบด้วยการไทเทรต

ในโครงการพิเศษได้ทำการหาปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบในโครงสร้างของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งของแป้งไฮโดรไลซ์กับอะคริลิกมอนอเมอร์ด้วยวิธีการไทเทรตโดยการวัดค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวก็คือหมู่ไฮเดียมคาร์บอกซิลेटที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ดังแสดงในสมการต่อไปนี้



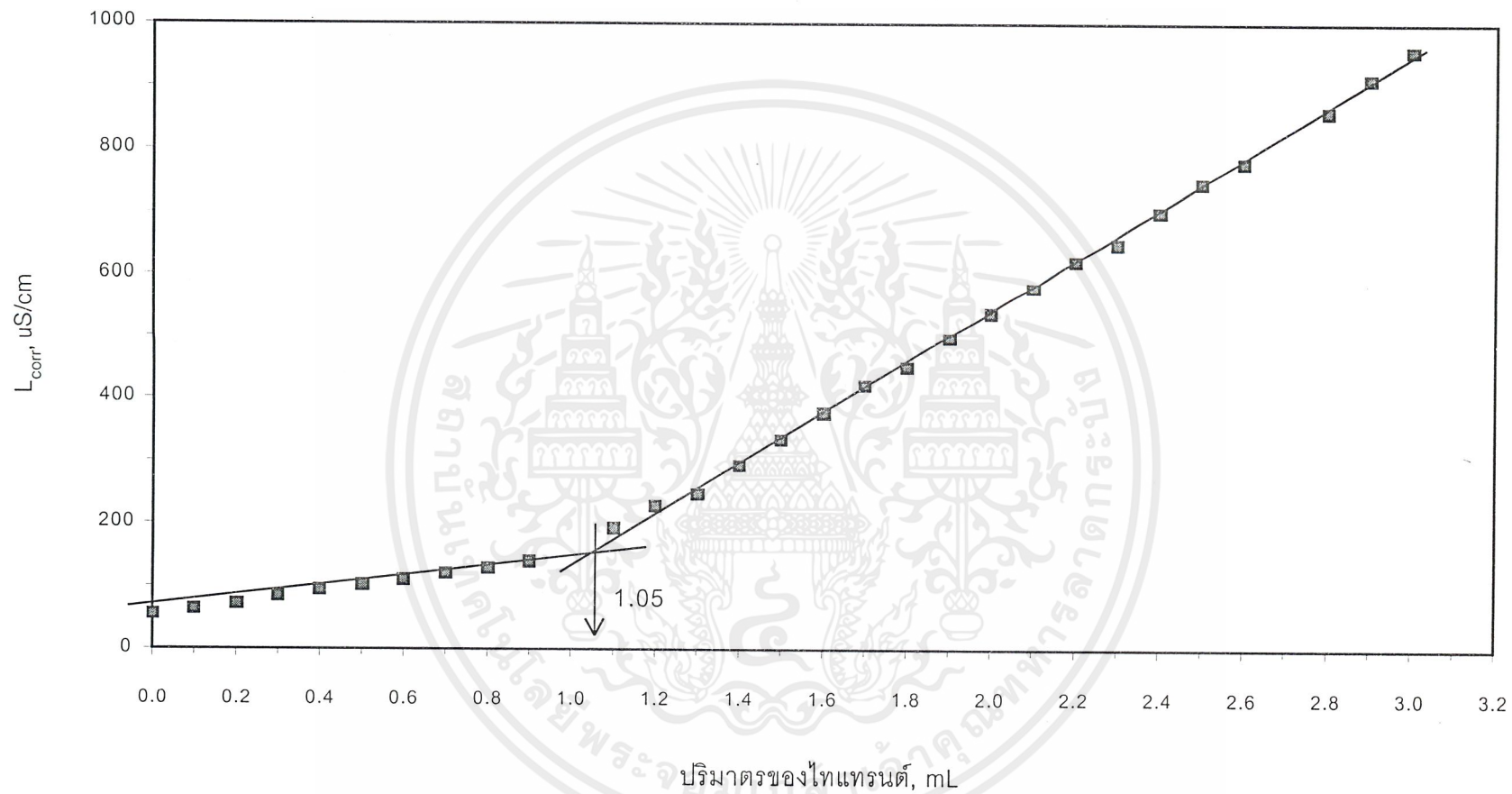
เนื่องจากในการไทเทรตจะทำให้ปริมาตรของสารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ ดังนั้นจึงต้องมีการแก้ไขค่าการนำไฟฟ้าให้ถูกต้องก่อนนำไปเขียนกราฟเพื่อหาจุดยุติ ซึ่งสามารถแก้ไขค่าการนำไฟฟ้าได้โดยอาศัยสมการดังต่อไปนี้

$$L_{\text{corr}} = L_{\text{obs}} * (V + v) / V$$

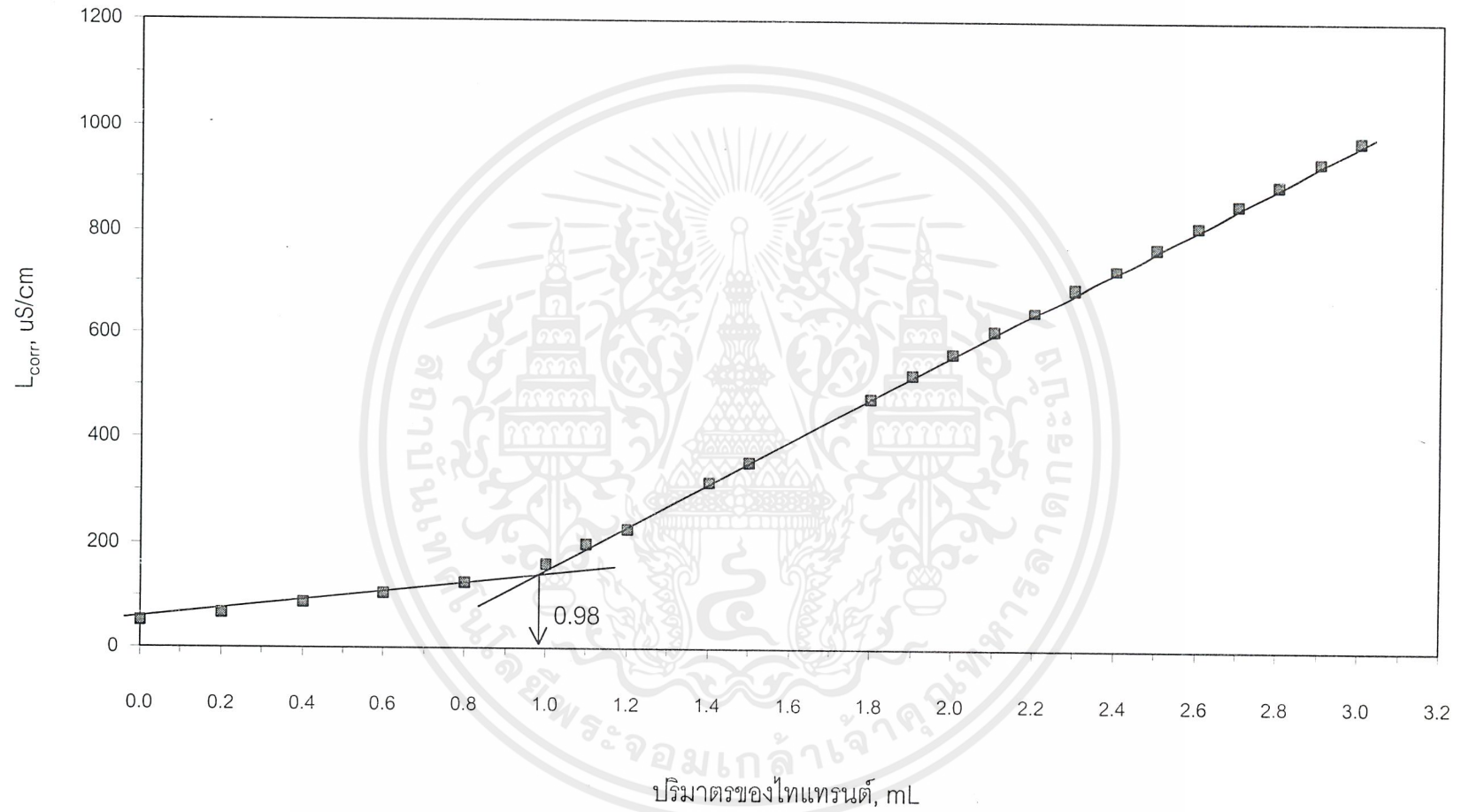
- เมื่อ L_{corr} คือค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้อง
 L_{obs} คือค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้
 V คือปริมาตรของสารละลายเดิม
 v คือปริมาตรของสารละลายไทเทรนต์ที่เติมลงไป

สำหรับกราฟของการไทเทรตด้วยวิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกิ่งสามารถแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้

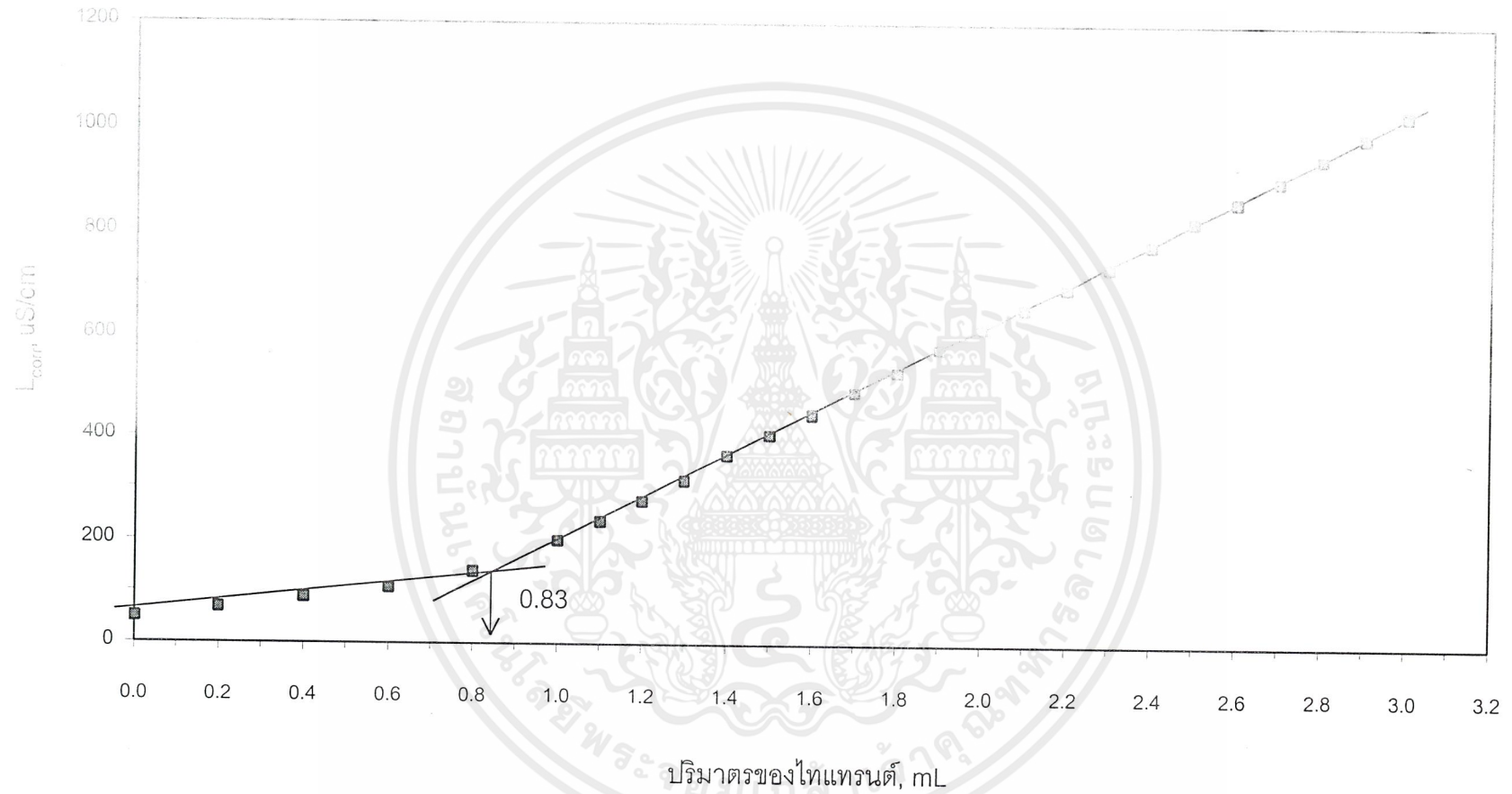
หมายเหตุ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกมีค่าเท่ากับ 0.0985 โมลาร์



รูปที่ จ.1 แสดงกราฟการไทเทรตด้วยวิธีวัดค่าการนำไฟฟ้าของการทดลองที่ 1
(ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์เท่ากับ 0.0126 %)



รูปที่ ๑.๒ แสดงกราฟการไทเทรตด้วยวิธีวัดค่าการนำไฟฟ้าของการทดลองที่ 4
(ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์เท่ากับ 0.0134 %)

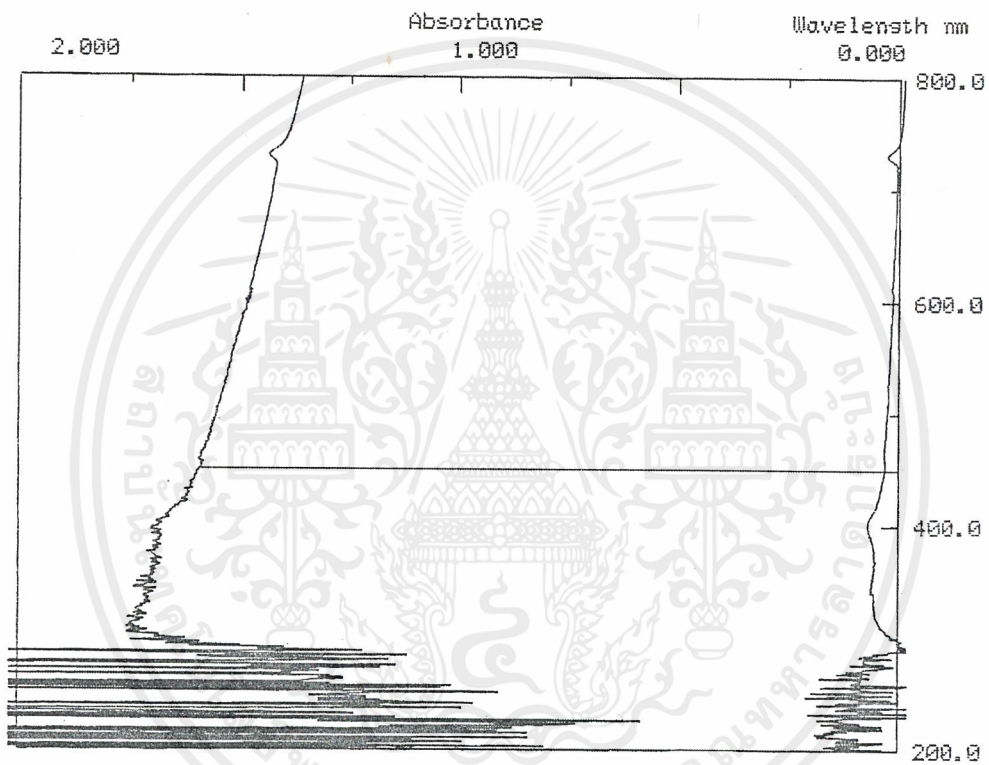


รูปที่ ๑.3 แสดงกราฟการไทเทรตด้วยวิธีวัดค่าการนำไฟฟ้าของการทดลองที่ 5
(ความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์เท่ากับ 0.0125 %)

ภาคผนวก จ

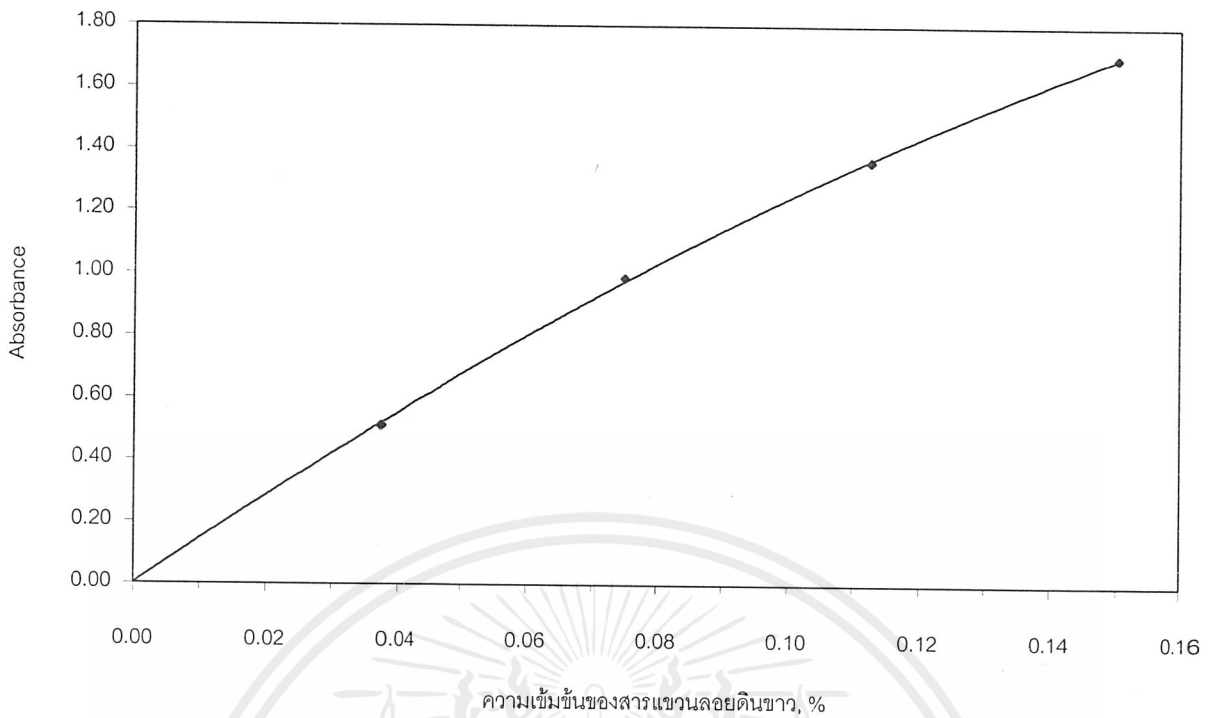
การทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอน

การทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนนี้ได้ใช้ค่าการดูดกลืนแสงแทนปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่ โดยค่าความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 450 nm ซึ่งจะทำให้สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ จ.1

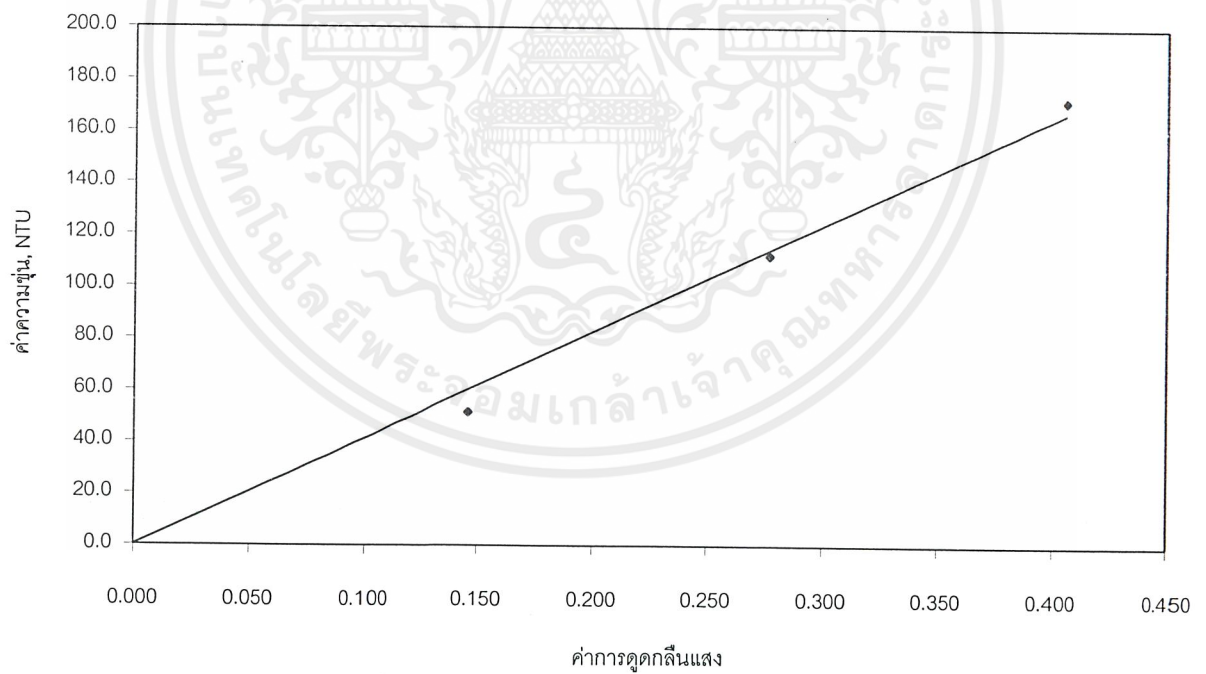


รูปที่ จ.1 แสดงผลของความยาวคลื่นที่มีต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารแขวนลอยดินขาว

นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารแขวนลอยดินขาวกับค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) และค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความขุ่น (turbidity) ซึ่งแสดงดังรูปที่ จ.2 และ จ.3 ตามลำดับ



รูปที่ ๑.๒ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารแขวนลอยดินขาว
กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 nm



รูปที่ ๑.๓ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง
(ที่ความยาวคลื่น 450 nm) กับค่าความขุ่น

สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการตกตะกอนด้วยอุปกรณ์จาร์เทสตีในโครงการพิเศษนี้ สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ จ.1 แสดงผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AA

[10%St-g-AA], ppm	ค่าการดูดกลืนแสง ก่อนเติม	ค่าการดูดกลืนแสง หลังเติม
0	1.721	1.585
5	1.726	1.625
10	1.725	1.661
15	1.726	1.675
20	1.724	1.679
25	1.723	1.687
30	1.725	1.691
45	1.741	1.702

ตารางที่ จ.2 แสดงผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AM

[10%St-g-AM], ppm	ค่าการดูดกลืนแสง ก่อนเติม	ค่าการดูดกลืนแสง หลังเติม	ประสิทธิภาพการ ตกตะกอน, %
0	1.717	1.552	9.61
5	1.725	1.405	18.55
10	1.716	1.326	22.73
15	1.719	1.261	26.64
20	1.720	1.265	26.45
25	1.721	1.251	27.31
30	1.708	1.211	29.10
40	1.745	1.154	33.87
55	1.747	1.135	35.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 แสดงผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของเกลือแคลเซียมคลอไรด์

[Ca ²⁺], ppm	ค่าการดูดกลืนแสง ก่อนเติม	ค่าการดูดกลืนแสง หลังเติม	ประสิทธิภาพการ ตกตะกอน, %
0	1.704	1.562	8.33
25	1.719	1.488	13.44
50	1.710	1.086	36.49
75	1.712	0.585	65.83
100	1.710	0.468	72.63
125	1.715	0.368	78.54
150	1.701	0.340	80.01
175	1.721	0.320	81.41
225	1.730	0.294	83.01
250	1.729	0.273	84.21
275	1.744	0.267	84.69

ตารางที่ จ.4 แสดงผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AA เมื่อใช้ร่วมกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca²⁺ เท่ากับ 25 ppm

[10%St-g-AA], ppm	ค่าการดูดกลืนแสง ก่อนเติม	ค่าการดูดกลืนแสง หลังเติม	ประสิทธิภาพการ ตกตะกอน, %
0	1.719	1.488	13.44
2	1.692	1.213	28.31
3	1.698	1.165	31.39
4	1.697	1.153	32.06
5	1.700	1.204	29.18
7	1.721	1.205	29.98
10	1.715	1.330	22.45
15	1.723	1.358	21.18
20	1.715	1.390	18.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.5 แสดงผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AA เมื่อใช้ร่วมกับ
เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 75 ppm

[10%St-g-AA], ppm	ค่าการดูดกลืนแสง ก่อนเติม	ค่าการดูดกลืนแสง หลังเติม	ประสิทธิภาพการ ตกตะกอน, %
0	1.712	0.585	65.83
1	1.713	0.301	82.43
2	1.699	0.289	82.99
3	1.722	0.302	82.46
4	1.698	0.309	81.80
5	1.722	0.349	79.73
10	1.723	0.401	76.73
15	1.726	0.408	76.36
20	1.730	0.435	74.86

ตารางที่ จ.6 แสดงผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AA เมื่อใช้ร่วมกับ
เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 150 ppm

[10%St-g-AA], ppm	ค่าการดูดกลืนแสง ก่อนเติม	ค่าการดูดกลืนแสง หลังเติม	ประสิทธิภาพการ ตกตะกอน, %
0	1.701	0.340	80.01
0.5	1.719	0.268	84.41
1	1.718	0.180	89.52
1.5	1.717	0.187	89.11
2	1.708	0.201	88.23
3	1.716	0.212	87.65
5	1.721	0.215	87.51
8	1.700	0.215	87.35
15	1.726	0.232	86.56

ตารางที่ จ.7 แสดงผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AM เมื่อใช้ร่วมกับ
เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 25 ppm

[10%St-g-AM], ppm	ค่าการดูดกลืนแสง ก่อนเติม	ค่าการดูดกลืนแสง หลังเติม	ประสิทธิภาพการ ตกตะกอน, %
0	1.719	1.488	13.44
1	1.689	0.630	62.70
2	1.679	0.546	67.48
3	1.690	0.527	68.82
4	1.686	0.530	68.56
5	1.721	0.539	68.68
6	1.672	0.558	66.63
8	1.705	0.616	63.87
10	1.709	0.677	60.39

ตารางที่ จ.8 แสดงผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AM เมื่อใช้ร่วมกับ
เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 75 ppm

[10%St-g-AM], ppm	ค่าการดูดกลืนแสง ก่อนเติม	ค่าการดูดกลืนแสง หลังเติม	ประสิทธิภาพการ ตกตะกอน, %
0	1.712	0.585	65.83
0.5	1.708	0.284	83.37
1	1.730	0.268	84.51
1.5	1.700	0.270	84.12
2	1.690	0.268	84.14
2.5	1.703	0.279	83.62
3	1.718	0.295	82.83
4	1.719	0.325	81.09
5	1.721	0.369	78.56
7	1.710	0.408	76.14
10	1.722	0.497	71.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.9 แสดงผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 10%St-g-AM เมื่อใช้ร่วมกับ
เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 150 ppm

[10%St-g-AM], ppm	ค่าการดูดกลืนแสง ก่อนเติม	ค่าการดูดกลืนแสง หลังเติม	ประสิทธิภาพการ ตกตะกอน, %
0	1.701	0.340	80.01
0.5	1.730	0.192	88.90
1	1.729	0.214	87.62
1.5	1.723	0.205	88.10
2	1.725	0.209	87.88
3	1.723	0.236	86.30
5	1.718	0.260	84.87
7	1.735	0.284	83.63
10	1.715	0.353	79.42

ตารางที่ จ.10 แสดงผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 30%St-g-AA เมื่อใช้ร่วมกับ
เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 75 ppm

[30%St-g-AA], ppm	ค่าการดูดกลืนแสง ก่อนเติม	ค่าการดูดกลืนแสง หลังเติม	ประสิทธิภาพการ ตกตะกอน, %
0	1.712	0.585	65.83
1	1.699	0.342	79.87
2	1.680	0.275	83.63
3	1.688	0.314	81.40
4	1.697	0.329	80.61
6	1.713	0.350	79.57
8	1.724	0.360	79.12
10	1.722	0.350	79.67
12	1.698	0.377	77.80

ตารางที่ จ.11 แสดงผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 50%St-g-AA เมื่อใช้ร่วมกับ
เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 75 ppm

[50%St-g-AA], ppm	ค่าการดูดกลืนแสง ก่อนเติม	ค่าการดูดกลืนแสง หลังเติม	ประสิทธิภาพการ ตกตะกอน, %
0	1.712	0.585	65.83
1	1.710	0.273	84.04
2	1.695	0.270	84.07
3	1.700	0.290	82.94
4	1.700	0.310	81.76
5	1.716	0.353	79.43
7	1.713	0.374	78.17
9	1.710	0.384	77.54
12	1.713	0.374	78.17

ตารางที่ จ.12 แสดงผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 30%St-g-AM เมื่อใช้ร่วมกับ
เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 75 ppm

[30%St-g-AM], ppm	ค่าการดูดกลืนแสง ก่อนเติม	ค่าการดูดกลืนแสง หลังเติม	ประสิทธิภาพการ ตกตะกอน, %
0	1.712	0.585	65.83
0.5	1.707	0.246	85.59
1	1.694	0.223	86.84
2	1.699	0.231	86.40
3	1.700	0.244	85.65
4	1.699	0.266	84.34
5	1.710	0.289	83.10
6	1.706	0.332	80.54
7	1.706	0.346	79.72
10	1.699	0.428	74.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.13 แสดงผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 50%St-g-AM เมื่อใช้ร่วมกับ
เกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 75 ppm

[50%St-g-AM], ppm	ค่าการดูดกลืนแสง ก่อนเติม	ค่าการดูดกลืนแสง หลังเติม	ประสิทธิภาพการ ตกตะกอน, %
0	1.712	0.585	65.83
0.5	1.710	0.272	84.09
1	1.709	0.246	85.61
2	1.704	0.239	85.97
3	1.713	0.249	85.46
4	1.712	0.248	85.51
5	1.712	0.267	84.40
6	1.712	0.307	82.07
7	1.703	0.324	80.97
8	1.708	0.340	80.09
10	1.714	0.391	77.19

ตารางที่ จ.14 แสดงผลการทดสอบสมบัติช่วยเร่งการตกตะกอนของ 50%St-g-AA + 50%St-g-AM ที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ (ความเข้มข้นรวมกันเท่ากับ 2 ppm) เมื่อใช้ร่วมกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 75 ppm

[50%St-g-AA] : [50%St-g-AM]	[50%St-g-AA], ppm	[50%St-g- AM], ppm	ค่าการดูดกลืน แสงก่อนเติม	ค่าการดูดกลืน แสงหลังเติม	ประสิทธิภาพการ ตกตะกอน, %
10 : 0	2.0	0.0	1.695	0.270	84.07
9 : 1	1.8	0.2	1.713	0.268	84.35
8 : 2	1.6	0.4	1.723	0.252	85.37
7 : 3	1.4	0.6	1.717	0.266	84.51
6 : 4	1.2	0.8	1.714	0.270	84.25
5 : 5	1.0	1.0	1.720	0.283	83.55
4 : 6	0.8	1.2	1.722	0.303	82.40
3 : 7	0.6	1.4	1.704	0.305	82.10
2 : 8	0.4	1.6	1.712	0.306	82.13
1 : 9	0.2	1.8	1.727	0.279	83.84
0 : 10	0.0	2.0	1.704	0.239	85.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กมล วัจจนะญาณ และสามารถ กนกพิทยานนท์. "โคพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติดูดซึมน้ำ : (I) การศึกษาวิธีการสังเคราะห์โคพอลิเมอร์แบบใหม่ในระดับห้องทดลอง." วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2535.
2. ปิยดา เจริญศิริสมบุรณ์ และเกรียงศักดิ์ รุกขจันทรวงศ์. "การสังเคราะห์และการตรวจสอบสมบัติเฉพาะของกราฟท์โคพอลิเมอร์ เพื่อใช้เป็นสารช่วยตกตะกอน." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2535.
3. ชัยณรงค์ ตระกูลสุขอนันต์ และธีรเทพ สิทธิกุลธร. "การสังเคราะห์และตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะของควอเทอร์นารีแคตไอออนิกพอลิอะคริลาไมด์เพื่อใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอน" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2536.
4. Cormick, C.L. and Park, L.S. "Water-Soluble Copolymers.III. Dextran-g-Poly (acrylamides) Control of Grafting Sites and Molecular Weight by Ce(IV)-Induced Initiation in Homogeneous Solutions." J. Polym. Sci., no. 19, 1981. pp. 2229-2241.
5. Crees, O.L., Sengles, E. and Whyman, E. "The Flocculation of Cane Sugar Muds with Acrylamide-Sodium Acrylate Copolymers." J. Appl. Polym. Sci., no. 42, 1991. pp. 837-844.
6. Khalil, M.I., Farag, S. and Fattach, S. A. E. "Hydrolysis of Poly(acrylamide)-Starch Graft Copolymer." J. Appl. Polym. Sci., no. 57, 1995. pp. 335-342.
7. Chan, W.C. and Chiang, C.Y. "Flocculation of Clay Suspensions with Water-Insoluble Starch Grafting Acrylamide/Sodium Allylsulfonated Copolymer Powder." J. Appl. Polym. Sci., no. 58, 1995, pp. 1721-1726.
8. Rath, S.K. and Singh, R.P. "Flocculation Characteristics of Grafted and Ungrafted Starch, Amylose, and Amylopectin." J. Appl. Polym. Sci., no. 66, 1997, pp. 1721-1729.
9. Wurzburg, O.B. *Modified Starches: Properties and Uses*. 3rd ed. Florida : CRC Press. 1987. pp. 4-13, 18, 21-22.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. Zhang, L.S. Polymerisation Processes and Products. E.P. patent no. 356,242. Feb. 28, 1990.
11. Bratby, J. Coagulation and Flocculation, with and Emphasis on Water and Wastewater Treatment. Britain : Uplands Press. 1980. pp. 136-147.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้