

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



การสังเคราะห์และตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะของควอเทอร์นารีแคตไอออนิก
พอลิอะคริลาไมด์เพื่อใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอน

ร/พ.
I383ก
2536

นาย ชัยณรงค์ ตระกูลสุขอนันต์
นาย ชีรเทพ สิทธิกุลธร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี.....

612527427

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2536

**Synthesis and Characterisation of Quaternary Cationic
Polyacrylamide as a Flocculant**

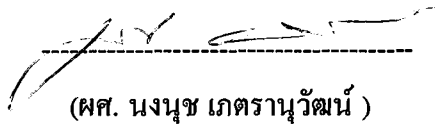
Mr. Chainarong Thakulsukanant
Mr. Teeratep Sittigultorn

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

1993

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์และตรวจสอบคุณลักษณะของควอเทอร์นารีแคต
ไอออนิกพอลิอะคริลาไมด์เพื่อใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอน
โดย นาย ชัยณรงค์ ตระกูลสุขอนันต์
 นาย ชีรเทพ สิทธิกุลธร
ภาควิชา เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

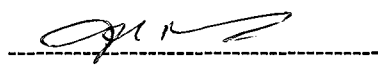

(ผศ. นงนุช เกตรานูวัฒน์)

รักษาการหัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการโครงการพิเศษ


(ผศ.ดร. สุนิตย์ สุขสำราญ)

ประธานกรรมการ



(ผศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

กรรมการ



(ผศ.ดร. ตักดา ไตรศักดิ์)

กรรมการ



(ดร. อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2536

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์และตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะของควอเทอร์นารีแคตไอออนิกพอลิอะคริลาไมด์ เพื่อใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอน
นักศึกษา	นาย ชัยณรงค์ ตระกูลสุขอนันต์ นาย วีรเทพ สิทธิกุลธร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	พ.ศ. 2536

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ควอเทอร์นารีแคตไอออนิกพอลิอะคริลาไมด์ เพื่อใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอนโดยปฏิกิริยาแมนนิซและการควอเทอร์ไนซ์ ได้ศึกษาหาคุณลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ ได้แก่ ค่าการดูดซึมน้ำและปริมาณประจุบวก ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน นอกจากนี้ได้ศึกษาปัจจัยในการสังเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณไดเมทิลเอมีนและฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งมีผลต่อปริมาณไนโตรเจนบวกในโมเลกุลของพอลิเมอร์และความสามารถในการดูดซึมน้ำ และได้ศึกษาปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการเร่งการตกตะกอนน้ำทิ้ง ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้ง และปริมาณการใช้ควอเทอร์นารีแคตไอออนิกพอลิอะคริลาไมด์ที่เหมาะสมในการช่วยเร่งการตกตะกอน

จากการทดลองพบว่า สภาวะต่างๆที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ควอเทอร์นารีแคตไอออนิกพอลิอะคริลาไมด์ ได้แก่ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาแมนนิซที่ 40°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณไดเมทิลเอมีนและปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์เท่ากันเท่ากับ 0.03 โมล ซึ่งจะได้อพอลิเมอร์ที่มีปริมาณไนโตรเจนบวก 59.94% ค่าการดูดน้ำ 79.59 กรัม/กรัม ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน 73.70% น้ำทิ้งที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนควรมีสภาพเป็นกลาง และควรใช้ควอเทอร์นารีแคตไอออนิกพอลิอะคริลาไมด์เข้มข้น 2% น้ำหนักโดยปริมาตร ต่อปริมาตรน้ำทิ้งในอัตราส่วนเท่ากับ 1:5 เพื่อเร่งการตกตะกอนสารแขวนลอยในน้ำทิ้ง

Special Project Title	Synthesis and Characterisation of Quaternary Cationic Polyacrylamide as a Flocculant	
Name	Mr. Chainarong	Thakulsukanant
	Mr. Teeratep	Sittigultorn
Special Project Advisor	Dr. Anucha	Euapermkiati
Department	Chemistry	
Year	1993	

Abstract

This special project involved studies of synthesis and characterisation of Quaternary Cationic Polyacrylamide (QCPAM). QCPAM was synthesized via Mannich and Quaternization Reactions. QCPAM characteristics investigated were water absorbency and quantity of nitrogen cation in the polymer molecule which reflected flocculation efficiency of the polymer. Factors that resulted in synthesis of QCPAM included temperature , time , amount of dimethylamine and formaldehyde were also investigated as well as effect of pH of waste water and amount of QCPAM used for flocculation.

The optimum conditions for synthesis QCPAM found in this studies were as follows : reaction temperature at 40°C , reaction time for 2 hours , dimethylamine and formaldehyde equal to 0.03 mole each. This gave QCPAM having 59.94% nitrogen cation; 79.59 g./g. water absorbency , 73.70% flocculation efficiency. The suitable conditions for flocculation were that the pH of waste water should be 7 and QCPAM concentration should be approximately 2% wt./V.. The amount of waste water to QCPAM solution should be 1:5.

กิติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาตลอด ผศ.ดร.สุนิตย์ สุขสำราญ ผศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล ผศ.ดร. ศักดา ไตรศักดิ์ คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่ช่วยกรุณาแก้ไขข้อผิดพลาดเพื่อให้รายงานฉบับนี้ถูกต้องยิ่งขึ้น คณาจารย์ในภาคเคมีทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาระหว่างดำเนินงานโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ และพีปียดา เจริญศิริสมบุรณ์ ที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ ในการดำเนินโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณบริษัทสยามเรซินและเคมีภัณฑ์ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและสารเคมี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัว รุ่นพี่ รุ่นน้อง เจ้าหน้าที่ภาคเคมีทุกท่านและเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนในทุกๆด้านตลอดมา

นาย ชัยณรงค์ ตระกูลสุขอนันต์

นาย ธีรเทพ สิทธิกุลธร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	a
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	b
กิตติกรรมประกาศ	c
สารบัญ	d
สารบัญตาราง	f
สารบัญรูป	g
คำย่อที่ใช้ในโครงการพิเศษ	i
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 โครงการพิเศษ	4
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	6
ส่วนที่ 1 ทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับการบำบัดน้ำ	6
2.1 การบำบัดน้ำทิ้ง	6
2.2 การจับเป็นกลุ่มหรือการจับกันเป็นก้อน	9
2.2.1 หลักการ	9
2.2.2 กลไกการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน	10
2.2.3 สารเร่งการตกตะกอน	12
ส่วนที่ 2 ทฤษฎี หลักการ และปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง	19
2.3 ซัลโฟเมทิลเลชัน	19
2.4 การสลายตัวแบบฮอฟแมน	19
2.5 การเกิดปฏิกิริยาแมนนิช	19
บทที่ 3 การทดลอง	24
3.1 สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	24
3.2 วิธีทดลอง	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	30
4.1 ปริมาณการเกิดผลิตภัณฑ์	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 อิทธิพลของอัตราส่วนของสารละลาย QCPAM ต่อปริมาณน้ำทิ้ง	30
4.3 อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลาย QCPAM และสภาพ pH ของน้ำทิ้งที่มีต่อประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน	31
4.4 การศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ QCPAM	31
4.5 การศึกษาถึงปริมาตรสารตั้งต้นที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ QCPAM	32
4.6 การศึกษาอิทธิพลอัตราส่วนและปริมาณสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ QCPAM	32
4.7 การศึกษาถึงอิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการสังเคราะห์ QCPAM	33
4.8 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน ปริมาณประจุบวก และค่าการดูดซึมน้ำ	34
4.9 โครงสร้างเคมี QCPAM	35
4.10 การประมาณราคา QCPAM สังเคราะห์	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	64
ส่วนที่ 1 สรุปผลการทดลอง	64
ส่วนที่ 2 ข้อเสนอแนะ	65
ภาคผนวก ก	67
ภาคผนวก ข	68
ภาคผนวก ค หลักการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์	69
ภาคผนวก ง คุณสมบัติของสารเคมีบางตัวที่ใช้ในโครงการพิเศษ	74
ภาคผนวก จ ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาแมนนิช	75
ภาคผนวก ฉ โปรแกรมหาอนุพันธ์อันดับ 1 (ภาษา QBASIC)	76
บรรณานุกรม	78

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 ชนิดของมลสารที่ควรตรวจสอบสำหรับน้ำประเภทต่างๆ	7
ตาราง 4.1 แสดงน้ำหนักที่ได้ % Yield และลักษณะทางกายภาพ	37
ตาราง 4.2 แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนของสารละลาย QCPAM ต่อปริมาณน้ำทิ้ง	38
ตาราง 4.3 pH ของสารละลายในระบบหลังบำบัดด้วย QCPAM	39
ตาราง 4.4 แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลาย QCPAM ที่ใช้ และ pH ของน้ำทิ้งที่มีต่อประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน	39
ตาราง 4.5 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ QCPAM เวลาในการสังเคราะห์ต่างๆ	40
ตาราง 4.6 แสดงอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ QCPAM ที่อุณหภูมิในการสังเคราะห์ต่างๆ	40
ตาราง 4.7 แสดงถึงอิทธิพลของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ QCPAM ที่เวลาในการสังเคราะห์ต่างๆ	41
ตาราง 4.8 แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ QCPAM	41
ตาราง 4.9 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน ปริมาณประจุบวก และค่าการดูดซึมน้ำ	42
ตาราง 4.10 เลขคลื่น และลักษณะเฉพาะของการสั่นของ QCPAM	43
ตาราง 4.11 แสดงชนิดและราคาสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ QCPAM ระดับห้องทดลอง	43
ตาราง ค.1 ช่วงความถี่ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์ค่าต่างๆ	72
ตาราง ค.2 การเก็บรักษาน้ำตัวอย่าง	73
ตาราง จ.1 ตารางแสดงผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาแมนนิช	75

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 2.1 แสดง Ionic double layer	9
รูป 2.2 แสดง Polymer charge patch	11
รูป 2.3 แสดง Polymer bridging	11
รูป 2.4 แสดงการเตรียม PEI และผลิตภัณฑ์ที่ได้	13
รูป 2.5 การเตรียม DADMAC	13
รูป 2.6 การเตรียม Hydolyzed polyacrylamide และผลิตภัณฑ์ที่ได้	15
รูป 2.7 การเตรียมอะคริลาไมด์-อะคริลิก โคพอลิเมอร์ และผลิตภัณฑ์ที่ได้	15
รูป 2.8 การเตรียม Poly(ethylene oxide) และผลิตภัณฑ์ที่ได้	15
รูป 2.9 การเตรียม Polyacrylamide และผลิตภัณฑ์ที่ได้	16
รูป 2.10 แสดงอนุพันธ์ของไคตินและไคโตแซน	17
รูป 2.11 แสดงการเกิดปฏิกิริยาซัลโฟเมทิลชันของพอลิอะคริลาไมด์	20
รูป 2.12 แสดงการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวแบบฮอฟแมนของพอลิอะคริลาไมด์	21
รูป 2.13 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง PAM กับแมนนิทอส	22
รูป 2.14 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง PAM กับ DMS	22
รูป 2.15 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดแบบฮอฟแมนที่เกิดขึ้นกับ QCPAM	23
รูป 4.1 แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนของสารละลาย QCPAM ต่อปริมาณน้ำทิ้ง	44
รูป 4.2 แสดง pH ของสารละลายในระบบหลังบำบัดด้วย QCPAM	45
รูป 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย QCPAM กับประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน	46
รูป 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน	47
รูป 4.5 กราฟระหว่างอุณหภูมิกับประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนที่เวลาต่างๆ	48
รูป 4.6 กราฟระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยากับปริมาณประจุบวก	49
รูป 4.7 กราฟระหว่างอุณหภูมิและค่าการดูดซึมน้ำ	50
รูป 4.8 กราฟระหว่างสารตั้งต้นและปริมาณประจุบวก	51
รูป 4.9 กราฟระหว่างสารตั้งต้นและค่าการดูดซึมน้ำ	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป 4.10	กราฟระหว่างปริมาณสารตั้งต้นและประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน	53
รูป 4.11	กราฟระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของ FA ต่อ DMA และปริมาณ ไนโตรเจนบวกใน QCPAM	54
รูป 4.12	กราฟระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของ FA ต่อ DMA และค่าการดูดซึมน้ำ	55
รูป 4.13	กราฟระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของ FA ต่อ DMA และประสิทธิภาพ ช่วยเร่งการตกตะกอน	56
รูป 4.14	กราฟระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาและปริมาณประจุบวก	57
รูป 4.15	กราฟระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาและค่าการดูดซึมน้ำ	58
รูป 4.16	กราฟระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาและประสิทธิภาพช่วยเร่ง การตกตะกอน	59
รูป 4.17	กราฟระหว่างปริมาณไนโตรเจนบวกและประสิทธิภาพช่วยเร่ง การตกตะกอน	60
รูป 4.18	กราฟระหว่างปริมาณไนโตรเจนบวกและค่าการดูดซึมน้ำ	61
รูป 4.19	กราฟระหว่างค่าการดูดซึมน้ำและประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน	62
รูป 4.20	แสดง IR สเปกตรัมของแมนนิช PAM	63

คำย่อที่ใช้ในโครงการพิเศษ

DMA	ไดเมทิลเอมีน (Dimethylamine)
PAM	พอลิอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide)
QCPAM	ควอเทอร์นารีแคตไอออนิกพอลิอะคริลาไมด์ (Quaternary cationic polyacrylamide)
CCP	แคตไอออนิกโคพอลิเมอร์ (Cationic copolymer)
QCCP	ควอเทอร์นารีแคตไอออนิกโคพอลิเมอร์ (Quaternary cationic copolymer)
DADMAC	ไดอัลลิลไดเมทิล แอมโมเนียมคลอไรด์ (Diallyl dimethyl ammonium chloride)
FA	ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)
DMS	ไดเมทิลซัลเฟต (Dimethyl sulfete)
SS	สารแขวนลอย (Suspended solid)
FE	ประสิทธิภาพในการตกตะกอน (Flocculation efficiency)
PEI	พอลิเอทิลีนอิมีน (Poly(ethylene imines))
ก.	กรัม
มก.	มิลลิกรัม
มล.	มิลลิลิตร
ซม.	เซนติเมตร
ลบ.ซม.	ลูกบาศก์เซนติเมตร
ลบ.คม.	ลูกบาศก์เดซิเมตร
๐๗	องศาเซลเซียส

บทที่ 1

บทนำ

การเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน ทำให้ปริมาณการบริโภคน้ำบริสุทธิ์สูงขึ้นตามไปด้วย สิ่งตามมา คือ ปัญหามลภาวะทางน้ำ จึงมีความจำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการและเทคโนโลยีเพื่อใช้ในการบำบัดและทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นวิธีทางกายภาพ ชีวภาพหรือเคมี ในปัจจุบันนี้วิธีที่กำลังเป็นที่สนใจ คือ การใช้สารประกอบอินทรีย์สังเคราะห์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในการบำบัดน้ำทิ้ง ในทางปฏิบัตินั้นสารประกอบอินทรีย์ที่ใช้เป็นสารเร่งการตกตะกอน สามารถจัดเป็นกลุ่มตามการนำไปใช้งานได้ดังนี้ [1]

1. สารพอลิโคแอกูแลนท์ (**Polycoagulants**) เป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งจะทำลายเสถียรภาพของการแขวนลอยด้วยการลดศักดาทางจลนไฟฟ้า (electro-kinetic potential) ของพื้นผิวอนุภาคทำให้เกิดการจับรวมตัวเป็นก้อนอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น
2. สารช่วยการรวมตัว (**Coagulation Aids**) เป็นสารประกอบพอลิเมอร์อินทรีย์ที่ใช้ร่วมกับสารอนินทรีย์ที่ช่วยการรวมตัว (**Inorganic coagulants**)
3. สารช่วยการตกตะกอน (**Sedimentation Aids**) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เพิ่มความถ่วงจำเพาะของการแขวนลอยและเพิ่มความเร็วในการตกตะกอน
4. สารช่วยการกรอง (**Filtration Aids**) เป็นสารประกอบพอลิเมอร์อินทรีย์ที่ทำหน้าที่ปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการกรอง
5. สารอินทรีย์ช่วยการกระจายตัว (**Organic Dispersing Agents**) ใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งการตกตะกอน
6. สารอินทรีย์ช่วยเสริมสภาพ (**Organic Conditioning Aids**) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติในการสูญเสีย
7. สารหน่วงการกัดกร่อน (**Corrosion Inhibitors**) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ใช้ในการกำจัดการกัดกร่อนของน้ำ

8. ตีมัลติฟายอิงเอเจนท์ (**Demulsifying Agents**) เป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงใช้ในการแยกน้ำมันที่ผสมอยู่ในน้ำ

สารเร่งการตกตะกอนอินทรีย์ที่นิยมใช้กัน มักเป็นสารสังเคราะห์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและสามารถละลายน้ำได้ สามารถจัดแบ่งสารเร่งการตกตะกอนตามส่วนประกอบพื้นฐานทางเคมีได้ดังนี้

1. สารเร่งการตกตะกอนจากแหล่งธรรมชาติ เช่น แป้ง อนุพันธ์ของแป้ง อนุพันธ์ของเซลลูโลส
2. สารเร่งการตกตะกอนพอลิเมอร์ ของกรดอะคริลิก (**acrylic acid**) และเมตาคริลิก (**methacrylic**) เช่น กรดอะคริลิก กรดเมตาคริลิกและอนุพันธ์ พอลิอะคริลาไมด์ พอลิอะคริโลไนไทรล์ เป็นต้น
3. สารเร่งการตกตะกอนพวกพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอนุพันธ์ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (**poly(vinyl alcohol)**) พอลิไวนิลอะซิเตต (**polyvinyl acetate**) เป็นต้น
4. สารเร่งการตกตะกอนของกรดมาเลอิก (**maleic acid**) และแอนไฮไดด์ของกรดมาเลอิก
5. สารเร่งการตกตะกอนพวกพอลิเอมีน (**polyamines**) และสารที่เกี่ยวข้อง
6. สารเร่งการตกตะกอนพวกพอลิเมอร์ของอะซิไรดีน (**aziridines**) เอทิลีนออกไซด์ (**ethylene oxides**)
7. สารเร่งการตกตะกอนพวกพอลิเอไมด์ (**polyamides**)
8. สารเร่งการตกตะกอนพวกพอลิสไตรีน (**polystyrene**)
9. สารพอลิเมอร์พวกเฮเทอโรไซคลิก (**heterocyclic polymers**)
10. พอลิเมอร์ของเกลือไดอัลคิลแอมโมเนียม (**diallyldialkylammonium salts**)
11. พอลิซัลโฟน (**polysulfones**) และพอลิซัลไฟด์ (**polysulfides**)
12. สารผสมของสารเร่งการตกตะกอนต่างๆ

ในอดีตนิยมนำไฮโมพอลิเมอร์ไปใช้งาน เช่น พอลิอะคริลาไมด์ พอลิ(เอทิลีน อิมีน) (**poly(ethylene imine)**) เป็นต้น ต่อมาได้มีการใช้สารเร่งการตกตะกอนประเภทโคพอลิเมอร์ เช่น โคพอลิเมอร์ของ

กรดอะคริลิกและอะคริลาไมด์ (acrylic-acrylamide copolymer) โคพอลิเมอร์ของ 2-ไวนิลไพรีดีน-อะคริลาไมด์ โคพอลิเมอร์ของพอลิเอมีนและอะคริลาไมด์-เมตาอะคริโลออกซีเอทิลไตรเมทิลแอมโมเนียม (polyamine and acrylamide-methacryloxyethyltrimethyl ammonium copolymer)

การเตรียมสารพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารเร่งการตกตะกอนมีอยู่หลายวิธี เช่น สารเร่งการตกตะกอนชนิดประจุบวกเตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างโมโนเอทิลามีนกับอพิฮาโลไฮดรีน แล้วทำการควอเตอร์ไนซ์ด้วยไดเมทิลซัลเฟต เมทิลคลอไรด์ หรือนำไฮโมพอลิเมอร์ เช่น อะคริลาไมด์ เมตาอะคริลาไมด์ และโคพอลิเมอร์ ทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์และเอมีน ในสภาวะสารละลายจะได้สารละลายพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก หรือนำอะคริลาไมด์ทำปฏิกิริยากับ ไค-เอ็น-เอ็น-อัลคิลามิโนนีโอเพนทิลเมตาคริเลต โคพอลิเมอร์ หรือเตรียมแอมโฟเทอริกพอลิเมอร์จากปฏิกิริยาแมนนิซของอะคริลาไมด์ที่เกิดกราฟท์กับแซนแทนกัม (acrylamide-grafted xantan gum)

พอลิเมอร์ที่นิยมใช้ คือ พอลิเมอร์ของเมตาอะคริลาไมด์ อะคริลาไมด์ หรือโคพอลิเมอร์ของสารเหล่านี้ เช่น โคพอลิเมอร์กับกรดสไตรีนซัลโฟนิค อะคริโลไนไทรล์ ไวนิลอะซิเตต แต่ที่นิยมแพร่หลายมากที่สุดคือ ไฮโมพอลิเมอร์ของอะคริลาไมด์ เพราะสามารถสลายตัวได้เองโดยธรรมชาติ ไม่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีการพัฒนาการสังเคราะห์และการนำไปใช้งานเกิดขึ้นตลอดเวลา

1.1 โครงการพิเศษ

โครงการพิเศษนี้ ได้ทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสายโซ่พอลิอะคริลาไมด์ด้วยปฏิกิริยาแมนนิชและปฏิกิริยาควอเตอร์ไนเซชัน ได้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยา สภาวะที่เหมาะสมต่อการดำเนินปฏิกิริยา โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพและผลทางเศรษฐกิจ ประโยชน์ที่ได้เป็นการนำไปใช้ในการบำบัดมลภาวะทางน้ำ คือ ใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอน สารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเสียตามแหล่งน้ำต่างๆ เช่น แม่น้ำลำคลอง การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1

การศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการตกตะกอนสารแขวนลอยจากแหล่งน้ำ เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ และปริมาณประจุบวกที่เหมาะสมทำให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้เป็นสารเร่งการตกตะกอน

ส่วนที่ 2

การศึกษาถึงปัจจัยต่างๆของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสายโซ่พอลิอะคริลาไมด์โดยปฏิกิริยาแมนนิช ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่

1. อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาแมนนิช
2. ปริมาณของสารตั้งต้น คือ ฟอรั่มัลดีไฮด์และไดเมทิลามีน ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาแมนนิชกับพอลิอะคริลาไมด์
3. เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาแมนนิชระหว่าง พอลิอะคริลาไมด์ ฟอรั่มัลดีไฮด์และไดเมทิลามีน
4. อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมระหว่าง ฟอรั่มัลดีไฮด์และไดเมทิลามีน

ปัจจัยทั้ง 4 นี้มีอิทธิพลอย่างมากในการทำปฏิกิริยาแมนนิชที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสายโซ่พอลิอะคริลาไมด์ และข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเคมีของพอลิอะคริลาไมด์ โดยคำนึงถึง

การนำไปใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอน ซึ่งพิจารณาจากประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนเป็นสำคัญ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์และตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะของควอเทอร์นารีแคตไอออนิกพอลิอะคริลาไมด์ (QCPAM) เตรียมโดยปฏิกิริยาแมนนิซและการควอเทอร์ไนเซชัน
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณไคเมทิลามีนและฟอร์มัลดีไฮด์ ที่มีต่อค่าการดูดน้ำและปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประจุบวก ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนสารแขวนลอยในน้ำทิ้ง
3. ศึกษาอิทธิพลของความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำทิ้ง และปริมาณ QCPAM ที่เหมาะสมต่อการใช้ตกตะกอนสารแขวนลอยในน้ำทิ้ง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. สังเคราะห์ QCPAM โดยการทำปฏิกิริยาปรับปรุงโครงสร้างทางเคมี (Chemical modification) ของพอลิอะคริลาไมด์โดยปฏิกิริยาแมนนิซและการควอเทอร์ไนเซชัน
2. ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการทำปฏิกิริยาแมนนิซ ได้แก่ ปริมาณของฟอร์มัลดีไฮด์และไคเมทิลเอมีน อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์และไคเมทิลามีนที่เหมาะสมที่สุด
3. การหาคุณลักษณะของควอเทอร์นารีแคตไอออนิกพอลิอะคริลาไมด์ ได้แก่ การหาปริมาณไนโตรเจนประจุบวกในสายโซ่โมเลกุลของ QCPAM การหาค่าการดูดซึมน้ำ (water absorbency) การหาประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน การตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีโดยใช้เครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (FTIR) การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนสารแขวนลอยจากแหล่งน้ำเสียบริเวณกองกิจการนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เช่น pH ของน้ำทิ้ง และปริมาณ QCPAM ที่ใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ส่วนที่ 1 ทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับการบำบัดน้ำทิ้ง

1. การบำบัดน้ำทิ้ง (Waste water treatment) [2]

การบำบัด (Treatment) หมายถึง การปรับสภาพน้ำให้ดีขึ้น น้ำทิ้ง (Waste water) หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์แล้ว ประกอบด้วยสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น จุลินทรีย์ สารอินทรีย์ สารแขวนลอย สี โลหะหนัก ฯลฯ ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำทิ้ง การเลือกวิธีในการบำบัดน้ำทิ้ง จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยหลายๆด้าน เช่น ปริมาณน้ำทิ้ง สิ่งเจือปน และการลงทุน เป็นต้น

วิธีการบำบัดน้ำทิ้ง แบ่งได้ 3 วิธี ดังนี้คือ

1. การบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment) เป็นการบำบัดน้ำทิ้งโดยอาศัย (1) การตกด้วยตะแกรง (Screening) เป็นการแยกสิ่งเจือปนที่มีขนาดใหญ่และหนัก โดยใช้ Bar screen Fine screen (2) การกวาด (Skimming) เป็นการกำจัดสิ่งเจือปนพวกน้ำมันหรือสิ่งที่ย่อยบนผิวน้ำได้ (3) การตกตะกอน (Sedimentation) เป็นการแยกของหนักออกจากน้ำทิ้งโดยอาศัยการตกตะกอน (4) การทำให้ลอย (Floatation) โดยการอัดน้ำอากาศที่มีความดัน 40 บาร์เข้าไป จะทำให้ตะกอนต่างๆ ลอยตัวขึ้น จากนั้นใช้เครื่องกวาดออก

2. การบำบัดทางเคมี (Chemical treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำทิ้งที่นิยมใช้กับอุตสาหกรรมที่น้ำทิ้งที่มีสภาพเป็นกรดหรือเบส โดยเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพน้ำทิ้งให้เป็นกลางก่อน จากนั้นจึงเติมสารช่วยเร่งการตกตะกอนลงไป เช่น $Al_2(SO_4)_3$ หรือ $Ca(OH)_2$ อนุภาคจะจับตัวเป็นก้อนที่มีขนาดใหญ่ แล้วจึงแยกตะกอนออก แต่วิธีนี้มีการลงทุนสูงและต้องใช้สารเคมีทั้งในแง่ปริมาณและสถานะที่ใช้เหมาะสมจึงจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

3. การบำบัดทางชีววิทยา (Biological treatment) เป็นวิธีการที่ใช้มากที่สุดในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง โดยจุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียจะไปย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ (Aerobic and Anaerobic treatment)

ชนิดของมลสารที่ควรตรวจสอบสำหรับตัวอย่างน้ำทิ้งประเภทต่างๆดังแสดงในตาราง 2.1 และมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม [2] มีดังต่อไปนี้คือ

ตาราง 2.1 ชนิดของมลสารที่ควรตรวจสอบสำหรับตัวอย่างน้ำประเภต่างๆ [2]

พารามิเตอร์	แม่น้ำ	น้ำทิ้งก่อนผ่านระบบ บำบัด	น้ำทิ้งก่อนผ่านระบบ บำบัด
1. อุณหภูมิ	/	---	---
2. สี	(/)	---	---
3. ความขุ่น	(/)	---	---
4. การนำไฟฟ้า	(/)	---	---
5. pH	/	/	/
6. ตะกอนหนัก	---	---	/
7. ปริมาณสารแขวนลอย	(/)	(/)	/
8. ออกซิเจนละลาย	/	---	---
9. บีโอดี	/	/	/
10. แอมโมเนียไนโตรเจน	/	(/)	(/)
11. ออร์แกนิกไนโตรเจน	---	(/)	(/)
12. ไนเตรตไนโตรเจน	/	---	(/)
13. สารซัลฟอก	---	---	(/)
14. ฟอสเฟต	---	---	(/)
15. โลหะหนัก	/	---	---
16. ยาฆ่าแมลง	/	---	---
17. ซัลไฟด์	---	/	---
18. น้ำมันและไขมัน	---	(/)	(/)

- หมายเหตุ 1. / เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ต้องวิเคราะห์
 (/) เป็นพารามิเตอร์ประกอบที่ควรวิเคราะห์
 --- ไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์

2. พารามิเตอร์ที่เสนอให้ตรวจสอบในที่นี้เป็นเพียงเกณฑ์ขั้นต่ำ สำหรับพารามิเตอร์อื่นๆ อาจเลือกตรวจสอบได้ แล้วแต่วัตถุประสงค์

มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม [2]

1. ค่า pH 5-9
2. ค่าเปอร์มังกานेट ไม่มากกว่า 60 มก./ล.
3. สารที่ละลายได้
 - 3.1 สารละลายได้ ไม่เกิน 2000 มก./ล. แยกต่างได้แต่ไม่เกิน 5000 มก./ล.
 - 3.2 น้ำทิ้งที่ระบายสู่น้ำกร่อยมีค่าความเค็มเกิน 2000 มก./ล. ค่าสารที่ละลายได้ในน้ำทิ้งจะมีมากกว่าที่มีในน้ำกร่อยไม่เกิน 5000 มก./ล.
4. ซัลไฟด์ คิตเทียบไฮโดเจนซัลไฟด์ไม่เกิน 1 มก./ล.
5. ไซยาไนด์ คิตเทียบ HCN ไม่เกิน 0.2 มก./ล.
6. โลหะหนัก

6.1 สังกะสี ไม่เกิน 5 มก./ล.	6.6 แคดเมียมไม่เกิน 0.03 มก./ล.
6.2 โครเมียมไม่เกิน 0.5 มก./ล.	6.7 บารีียมไม่เกิน 0.02 มก./ล.
6.3 อาร์เซนิกไม่เกิน 0.25 มก./ล.	6.8 เซเลเนียมไม่เกิน 0.02 มก./ล.
6.4 ทองแดงไม่เกิน 1 มก./ล.	6.9 ตะกั่วไม่เกิน 0.02 มก./ล.
6.5 ปรอทไม่เกิน 0.005 มก./ล.	6.10 นิกเกิลไม่เกิน 0.2 มก./ล.
	6.11 แมงกานีสไม่เกิน 5 มก./ล.
7. น้ำมันทาร์ไม่มีเลย
8. น้ำมันและไขมันไม่มากกว่า 5 มก./ล. ยกเว้นโรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานกิจการผสมน้ำมันหล่อลื่น จาระบี ไม่มากกว่า 15 มก./ล.
9. ฟอรัลดีไฮด์ไม่มากกว่า 1 มก./ล.
10. ฟีนอลและครีซอลไม่เกิน 1 มก./ล.
11. คลอลินอิสระไม่เกิน 1 มก./ล.
12. ขำฆ่าแมลง สารกัมมันตภาพรังสี ไม่มีเลย
13. ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำสาธารณะ 1:8 ถึง 1:150 สารที่ลอยเจือปนอยู่ต้องไม่เกิน 50 พีพีเอ็ม (ppm) ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำสาธารณะ 1:151 ถึง 1:300 สารที่ลอย เจือ

ปน อยู่ต้องไม่เกิน 60 พีพีเอ็ม (ppm) ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำสาธารณะ 1:301 ถึง 1:500 สารที่ลอยเจือปนอยู่ต้องไม่เกิน 150 พีพีเอ็ม (ppm)

14. ค่า B.O.D. 5 วันที่ 20 °ซ ไม่เกิน 100 มก./ล.

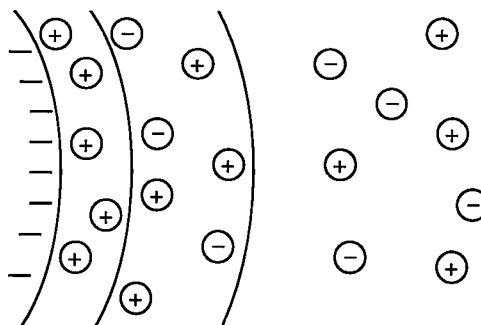
15. อุณหภูมิของน้ำทิ้งที่ระบายสู่น้ำสาธารณะไม่เกิน 40 °ซ

16. สีหรือกลิ่นน้ำทิ้งไม่เป็นที่รังเกียจ

2. การจับเป็นกลุ่มหรือการจับเป็นก้อน (Flocculation or Coagulation) (ดูภาคผนวก ก) [3,4,14]

2.1 หลักการ

การเกิดไอออนในเซชัน (Ionization) ของหมู่ฟังก์ชันที่อยู่บนพื้นผิวอนุภาค เช่น หมู่ไฮดรอกซิลในแร่ออกไซด์ หรือหมู่คาร์บอกซิลิกในอนุภาคของยาง เป็นต้น ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่พื้นผิวอนุภาค แขนวลอย ประจุลบบนอนุภาคถูกทำให้สมดุลโดยไอออนที่มีประจุตรงข้าม (Counter ion) ที่อยู่ในตัวกลางหรือสารละลายที่อยู่รอบๆ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ชั้นประจุไฟฟ้า 2 ชั้น (Ionic double layer) [3]



รูป 2.1 แสดงชั้นประจุไฟฟ้า 2 ชั้น (Ionic double layer)

เมื่อแต่ละอนุภาคซึ่งต่างก็มีประจุพื้นผิวเหมือนกันแขวนลอยอยู่จะทำให้เกิดแรงผลักกันระหว่างอนุภาค สำหรับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่แรงดึงดูดของโลกจะทำให้เกิดความไม่เสถียรในการแขวนลอย อนุภาคเกิดการตกตะกอนลงมา แต่อนุภาคที่มีขนาดเล็กแรงไฟฟ้าสถิตย์จะมีอิทธิพล

ดูดของโลก ทำให้อนุภาคเกิดความเสถียรของการแขวนลอย ถ้าอนุภาคแขวนลอยเกิดการรวมตัวใหญ่ขึ้นแรงดึงดูดของโลกจะมีอิทธิพลมากขึ้นทำให้เกิดการตกตะกอนลงมา

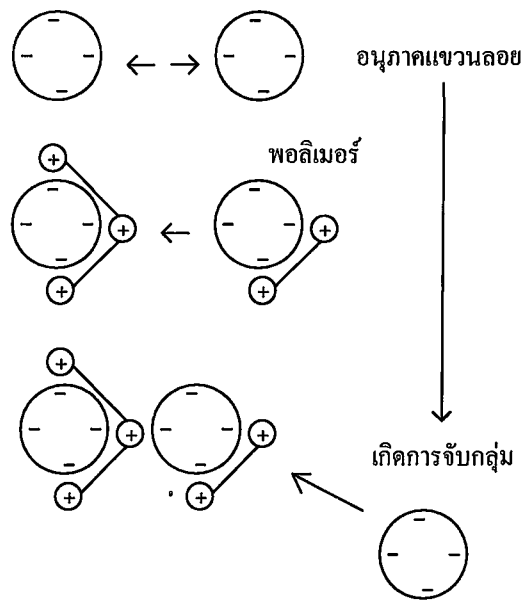
การรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน (Aggregate formation) เรียกว่า **Flocculation** กลุ่มก้อนที่รวมตัวกันเรียกว่า **Floc** หรือ **Floccule** และสารเคมีที่ช่วยในการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนเรียกว่า **Flocculating agent** หรือ **Flocculant**

2.2 กลไกของการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน

1. Double layer compression คือ สารเร่งการตกตะกอน จะเพิ่มความแข็งแรงแบบไอออนิก (Ionic strength) ของตัวกลางให้ระยะทางของ Double layer นั้นสั้นลง ซึ่งเป็นการลดช่วงแรงผลักระหว่างอนุภาค

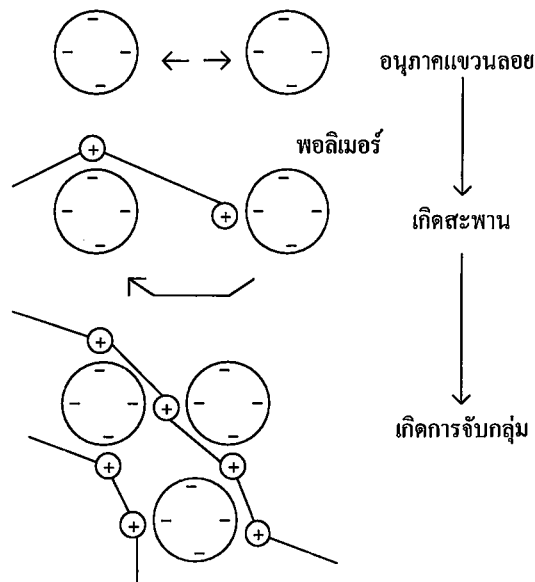
2. Specific adsorption คือ สารเร่งการตกตะกอนจะถูกดูดซับบนพื้นผิวของอนุภาคทำให้ประจุไฟฟ้าที่ผิวลดลงส่งผลให้แรงผลักระหว่างอนุภาคลดลง ทำให้อนุภาคเข้าใกล้กันได้มากขึ้น เกิดการรวมตัวกันได้ง่ายขึ้น

3. Polymer charge patch คือ พื้นผิวอนุภาคที่มีประจุลบจะดูดซับโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มีประจุบวกด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์ ทำให้ตำแหน่งนั้นมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ประจุบวกที่มากเกินไปจะถูกดูดซับโดยประจุลบที่ตำแหน่งอื่นๆบนพื้นผิวอนุภาค ทำให้เกิดเป็นแผ่นของประจุบวกปกคลุมรอบอนุภาคแขวนลอยนั้น ถ้าใช้สารพอลิเมอร์ในปริมาณที่มากเกินไปปริมาณที่เหมาะสม (Optimum polymer dose, OPD) สารพอลิเมอร์จะช่วยให้อนุภาคเกิดการแขวนลอยอีกครั้ง



รูป 2.2 แสดงกลไกการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนแบบ Polymer charge patch

4. **Polymer bridging** คือ พื้นผิวอนุภาคจะดูดซับพอลิเมอร์เส้นตรงที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (มีสายโซ่ที่ยาว) ส่วนท้ายของสายโซ่พอลิเมอร์ของ 2 อนุภาค อาจเกิดการเชื่อมโยงหรือเกี่ยวกัน หรือส่วนท้ายของสายโซ่พอลิเมอร์จะถูกดูดซับโดยอนุภาคแขวนลอยอื่น เกิดเป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาค



รูป 2.3 แสดงกลไกการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนแบบ Polymer bridging

สารเร่งการตกตะกอนบางชนิดไม่เพียงแต่จะช่วยตกตะกอนอนุภาคแขวนลอยเท่านั้น ยังช่วยตกตะกอนสารเคมีบางอย่าง เช่น Al^{3+} Fe^{2+} Ca^{2+} ช่วยตกตะกอน Soluble phosphate และ Al^{3+} Fe^{3+} ช่วยตกตะกอน Fulvic & Humic acid เป็นต้น Flocculant ประเภทพอลิเมอร์ที่มีความเป็นประจุบวกสูง นอกจากจะใช้เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอนแล้วยังช่วยขจัดสีที่ละลายน้ำแล้วให้ประจุลบในเยื่อไม่อีกด้วย ปริมาณและสถานะของ สารเร่งการตกตะกอนที่ใช้ต้องเหมาะสมจึงทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งาน โดยสามารถติดตามรายละเอียดได้ในภาคผนวก ข

2.3 สารเร่งการตกตะกอน (Flocculant) แบ่งออกเป็น

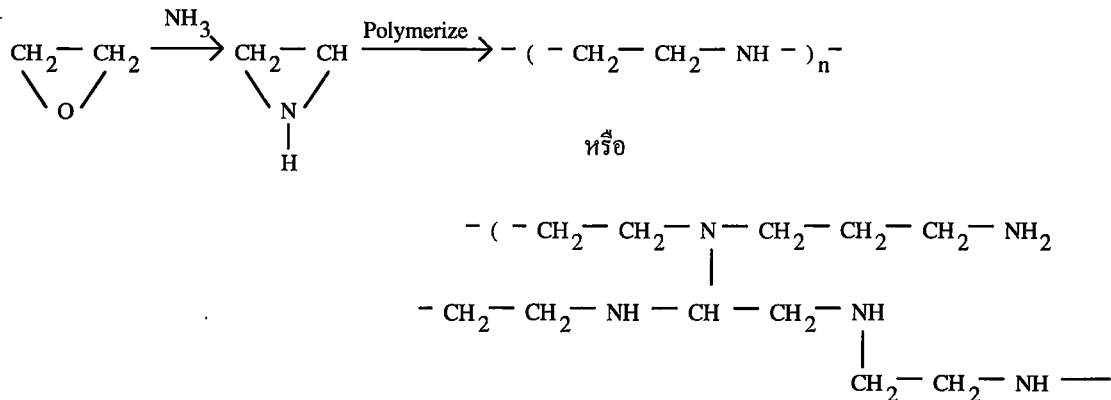
สารเร่งการตกตะกอนอนินทรีย์ (Inorganic flocculant) เป็นเกลือของสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนได้ การใช้งานและการเตรียมสารเร่งการตกตะกอนประเภทนี้เป็นวิธีเฉพาะสำหรับสารแต่ละชนิด ตัวอย่างของสารเร่งการตกตะกอนประเภทนี้ ได้แก่ อนุพันธ์ของอลูมิเนียมอะลัม (Aluminium sulfate hydrate) พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ และเกลือของเหล็ก เป็นต้น ปัจจุบันปริมาณการใช้สารประเภทนี้ได้ลดลง เนื่องจากความยุ่งยากในการใช้งาน จึงนิยมใช้สารเร่งการตกตะกอนประเภทอินทรีย์แทน

สารเร่งการตกตะกอนอินทรีย์ (Organic flocculant) โดยทั่วไปเป็นสารจำพวกพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติดูดซึมน้ำได้ (Water soluble polymer) ถ้าหน่วยย่อยของพอลิเมอร์มีประจุ เรียกพอลิเมอร์เหล่านี้ว่า Polyelectrolyte ซึ่งเป็นไปได้ทั้งประจุบวก (Cationic) และประจุลบ (Anionic) ถ้ามีประจุบวกและลบบอยู่บนโมเลกุลเดียวกัน (Zwitterion) เรียกว่า Polyampholyte ถ้าไม่มีประจุหรือมีน้อยกว่า 1% เรียกว่า Nonionic polymer

พอลิเมอร์อินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่

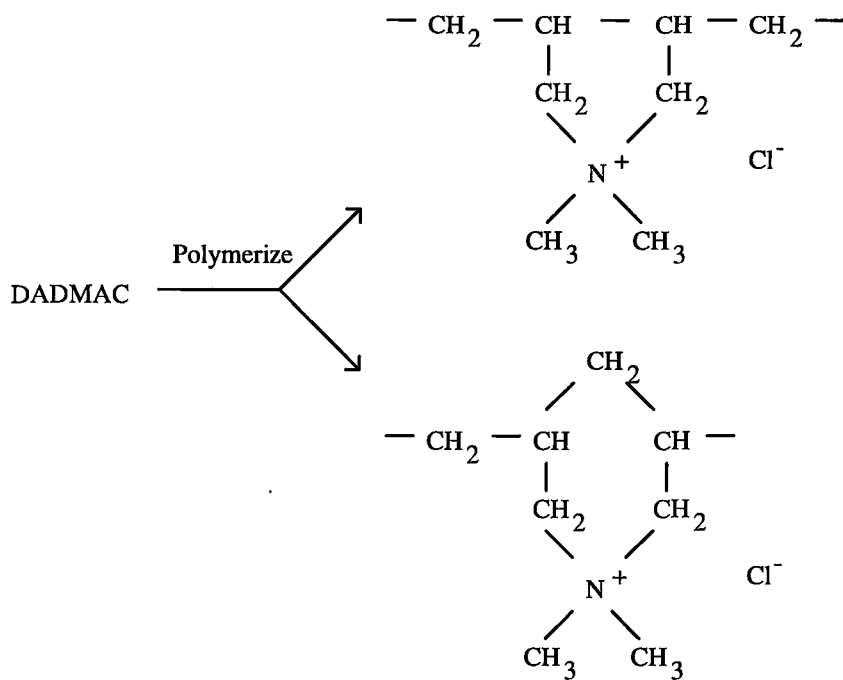
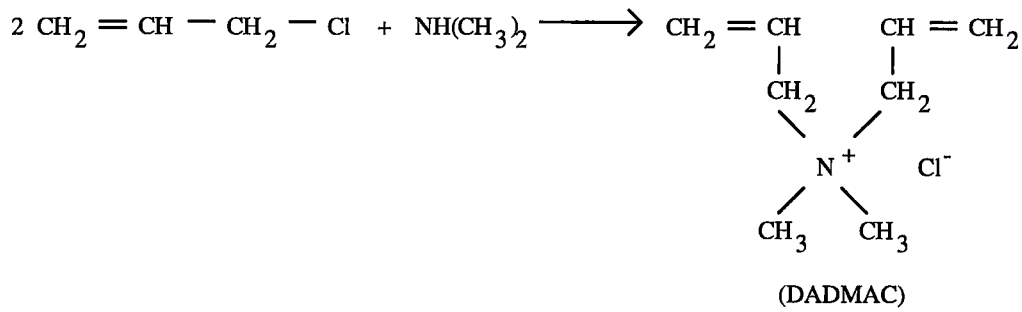
1.พอลิเมอร์ที่มีประจุบวก (Cationic polymer)[5] หมู่ที่ให้ประจุบวก เช่น เอมีน ซัลโฟเนียม ฟอสโฟเนียม ไนโตรเจนควอเทอร์ไนส์ (เรียกว่า Polyquat) ความเป็นประจุบวกของไนโตรเจนควอเทอร์ไนส์ ไม่ขึ้นกับค่าความเป็นกรดต่าง พอลิเมอร์ที่เตรียมได้มีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงนักและช่วงของความเป็นประจุบวกก็ไม่มากนัก นิยมใช้ในการตกตะกอนสารอินทรีย์และสารแขวนลอย ตัวอย่างพอลิเมอร์ประเภทนี้ เช่น

Step growth polymer เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ($<10^5$) แต่มีความเป็นประจุบวกสูง เช่น Poly(ethylene imines) (PEI)[6] ซึ่งสามารถเตรียมได้โดย นำ Ethylene oxide มาทำปฏิกิริยากับ Ammonia ได้ Ethylene imine ซึ่งจะนำไปทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบเปิดวงในสภาวะสารละลาย โดยใช้ Ethylene dichloride เป็นตัวริเริ่ม PEI ที่เตรียมได้มีทั้งส่วนที่เป็นเส้นตรงและกิ่งก้านสาขา และมีทั้งส่วนที่เป็นเอมีนปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิ ดังแสดงในรูป 2.4



รูป 2.4 แสดงการเตรียม PEI และผลิตภัณฑ์ที่ได้

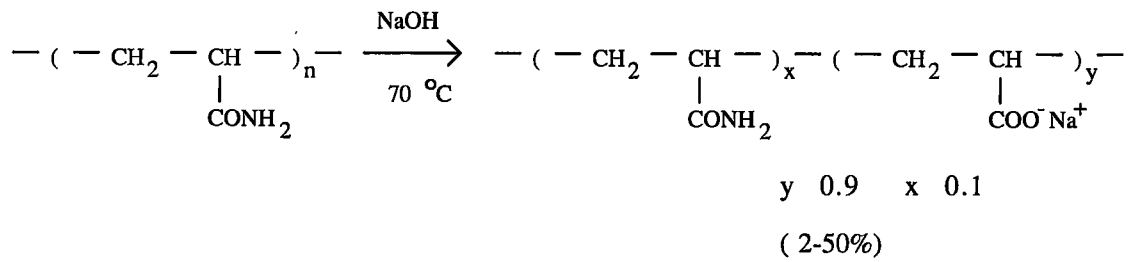
Vinyl addition polymer เช่น Poly(diallyldimethylammonium chloride)[7] เตรียมโดยนำ Allyl chloride มาทำปฏิกิริยากับ Dimethyl amine ได้ Diallyl dimethyl ammonium chloride (DADMAC) จากนั้นก็ทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในสภาวะสารละลายโดยใช้เปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่ม จะได้พอลิเมอร์ที่เป็นวงแหวนเหลี่ยมและห้าเหลี่ยม ประจุบวกจะอยู่ที่หมู่แทนที่ไม่ได้อยู่ที่สายโซ่หลัก ดังรูป 2.5



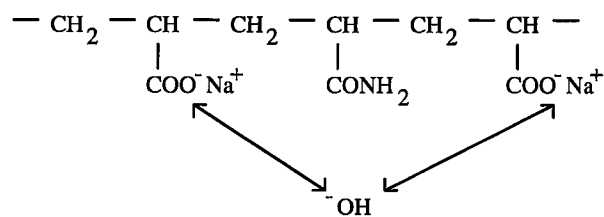
รูป 2.5 การเตรียม DADMAC

2.พอลิเมอร์ที่มีประจุลบ (Anionic polymer) หมู่ที่ให้ประจุลบ เช่น คาร์บอกซิล ซัลโฟนิล ฟอสฟอริก เป็นต้น ในปัจจุบันนี้สามารถเตรียมเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุลบให้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึงสูงมากได้ และสามารถเตรียมให้มีประจุลบได้ตั้งแต่ 1-100% พอลิเมอร์ที่นิยมใช้ คือ พอลิเมอร์ที่มีหมู่คาร์บอกซิล มักใช้ในสถานะที่น้ำหึ่งมีคุณสมบัติเป็นกลางหรือต่าง เช่น

Hydrolyzed polyacrylamide[8] ซึ่งได้จากการนำพอลิอะคริไมด์มาทำปฏิกิริยากับเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิประมาณ 70°C ดังรูป

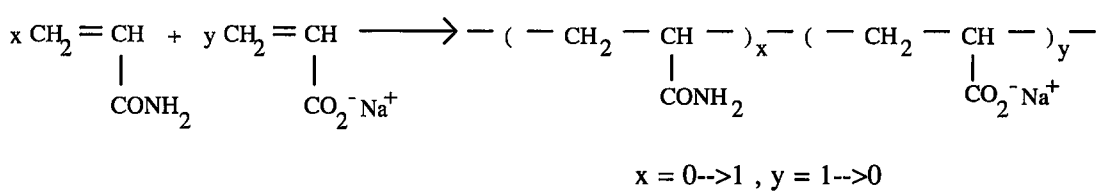


ซึ่งในพอลิเมอร์ดังกล่าวอาจมีผลของหมู่ข้างเคียงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ดังรูป



รูป 2.6 การเตรียม Hydrolyzed polyacrylamide และผลิตภัณฑ์ที่ได้

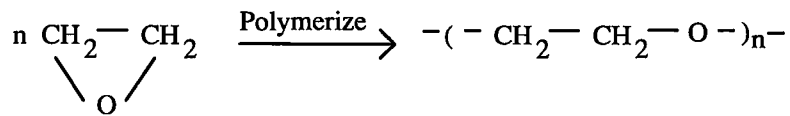
อะคริลาไมด์-อะคริลิก โคพอลิเมอร์[9] เตรียมได้โดยปฏิกิริยาโคพอลิเมอร์ไรเซชันของ Acrylic acid และ Acrylamide ในสถานะที่มีโลหะอัลคาไลหรือเกลือแอมโมเนียม ในการเตรียมต้องควบคุมตัวริ่ม pH ของตัวกลาง และอัตราส่วนของสารที่ใช้ให้ดี สามารถใช้เตรียมโคพอลิเมอร์ที่มีประจุลบได้ทุกช่วง ทั้งนี้ขึ้นกับเทคนิคที่ใช้ในการเตรียม



รูป 2.7 การเตรียมอะคริลาไมด์-อะคริลิก โคพอลิเมอร์ และผลิตภัณฑ์ที่ได้

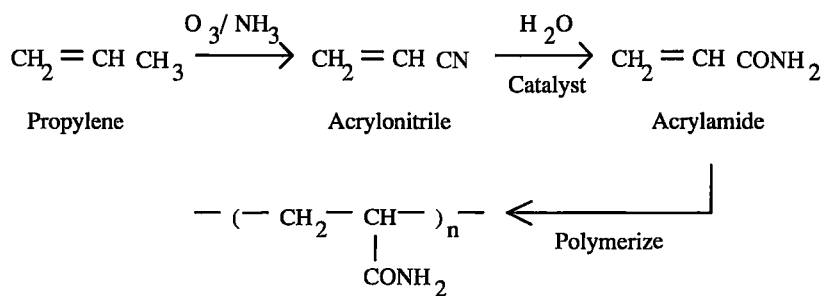
3.พอลิเมอร์ที่ไม่มีประจุ (nonionic polymer) ส่วนมากเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึงสูงมากและอาจเกิดการไฮโดรไลซ์ในกระบวนการเตรียมบ้าง ทำให้มีปริมาณความเป็นประจุลบบ้างเล็กน้อย มักใช้กับน้ำทิ้งที่มีคุณสมบัติเป็นกรด เช่น

Poly(ethylene oxide)[10] เตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของ Ethylene oxide
 ดังรูป 2.8



รูป 2.8 การเตรียม Poly(ethylene oxide) และผลิตภัณฑ์ที่ได้

พอลิอะคริลาไมด์ เตรียมได้โดยนำอะคริลาไมด์มาทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งมีเทคนิคการเตรียมได้หลายวิธี เช่น แบบอิมัลชัน แบบสารแขวนลอย แบบสารละลาย ตัวริเริ่มที่ใช้ ได้แก่ แสงรังสีแกมมา เป็นต้น



รูป 2.9 การเตรียม Polyacrylamide และผลิตภัณฑ์ที่ได้

พอลิเมอร์อินทรีย์ธรรมชาติ มีราคาถูก แต่เกิดการเน่าเสียได้ง่าย เช่น

1. แป้ง (Starch) [11] พบในข้าวโพด ข้าวสาลี มันฝรั่ง มันสำปะหลัง ประกอบด้วยสารพอลิแซคาไรด์ (Polysaccharide) 2 ชนิด คือ อะไมโลส (Amylose) ซึ่งเป็นดีกลูโคสหน่วยเชิงเส้น (Linear D-glucose unit) ที่มีพันธะแบบ α -D(1-4) และอะไมโลเพกติน (Amylopectin) ซึ่งมีกิ่งก้านสาขามาก และเชื่อมกันด้วยพันธะแบบ α -(1-6) ไกลโคซิดิก ในแป้งจะมีอะไมโลเพกตินเป็นองค์ประกอบหลัก ก่อนนำแป้งไปใช้ประโยชน์เป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอนควรมีการปรับสมบัติ โดยอาจทำได้ดังนี้

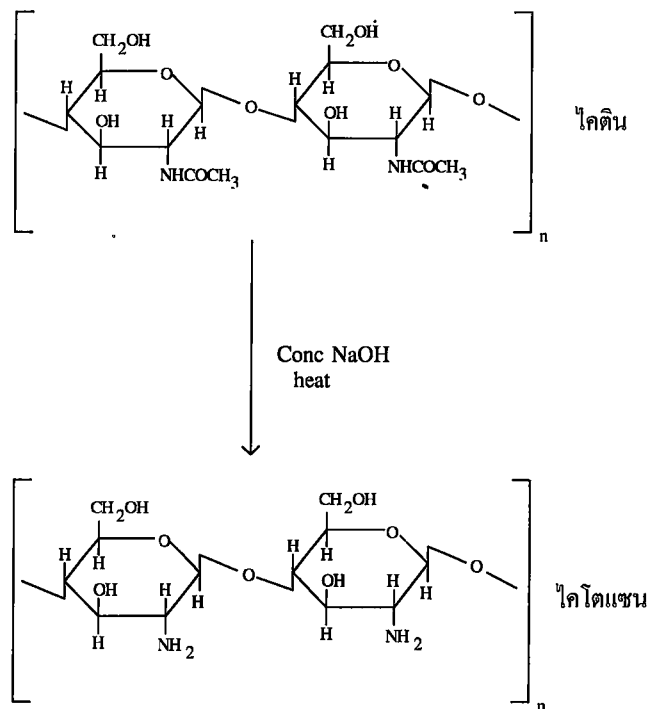
แทนที่ด้วยประจุบวก เช่น การทำอีเทอร์ริฟิเคชัน (Etherification) แป้งด้วย เอ็น-เอ็นไดเมทิลอะมิโนเอทิลคลอไรด์ และ 2,3-อีพอกซีโพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ แต่องศาของการแทนที่ที่ได้จะต่ำ (<0.05) หรือโดยการกราฟท์แป้งด้วยมอนอเมอร์ที่มีประจุบวก ฯลฯ

การแทนที่ด้วยประจุลบ เช่น นำแป้งมาทำปฏิกิริยากับอัลคาไล หรือโมโนหรือไดโซเดียมฟอสเฟต ที่ 100°C เป็นระยะเวลาสั้นๆ และโดยการทำกราฟท์

2.อนุพันธ์ของไคตินและไคโตแซน (Chitin derivative and Chitosan)[6,12]

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติดูดซึมน้ำชนิดหนึ่งที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างของเปลือกสัตว์จำพวกกุ้ง ปู หอย แมลง ชิ้นส่วนขากรรไกรและกระดูกสันหลังของสัตว์จำพวกไส้เดือนบางชนิด และผนังเซลล์ของเชื้อราและสาหร่ายบางชนิด ไคตินที่ได้มาจากแหล่งที่ต่างกันจะมีลักษณะของโมเลกุลแตกต่างกันบ้าง เช่น ความยาวสายโซ่โมเลกุล รูปแบบของผลึก จำนวนหมู่อะซิติล ($\text{CH}_3\text{CO}-$) ที่เกาะกับโซ่แตกต่างกัน

ในปี พ.ศ. 2402 นักเคมีชื่อ รูเกต [3] ได้พบว่าเมื่อนำไคตินมาต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น อะซิติลบางส่วนจะถูกดึงออกจากโมเลกุลเกิดเป็นหมู่เอมีนแทน อนุพันธ์ของไคตินที่เกิดขึ้นเรียกว่าไคโตแซน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิหรือความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ หมู่อะซิติลจะหลุดออกไปมากขึ้น ด้วยวิธีนี้ทำให้สามารถผลิตไคโตแซนที่มีคุณสมบัติและการใช้ประโยชน์แตกต่างกัน



รูป 2.10 แสดงอนุพันธ์ของไคตินและไคโตแซน

ไคโตแซนสามารถใช้เป็นสารเร่งการตกตะกอนสารแขวนลอยในน้ำทิ้งที่มีสภาพเป็นกรดได้ โดยหมู่เอมีน (-NH_2) จะจับกับโปรตอนกลายเป็นหมู่ NH_3^+ ซึ่งสามารถทำให้อนุภาคแขวนลอยที่มีประจุลบเกิดการรวมตัวและตกตะกอนลงมาได้ นอกจากนี้ยังใช้ในการตกตะกอนโลหะหนักได้ เช่น โปรท ตะกั่ว ฯลฯ เนื่องจากเป็นตัวลิแกนด์ที่ดี ไคโตแซนยังสามารถใช้เพิ่มความคงทนแก่เยื่อกระดาษและใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ได้อีกด้วย

ส่วนที่ 2 ทฤษฎี หลักการ และปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง

อะครีลาไมด์มอนอเมอร์เกิดจากการนำเอาอะคริโลไนไตรล์มอนอเมอร์มาทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดซัลฟูริก จากนั้นจึงใช้ด่างแยกอะครีลาไมด์มอนอเมอร์ออกมา [1] เมื่อนำอะครีลาไมด์มอนอเมอร์นำมาผ่านกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นพอลิอะครีลาไมด์ ซึ่งกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันมีดังนี้

กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ (free-radical polymerization)

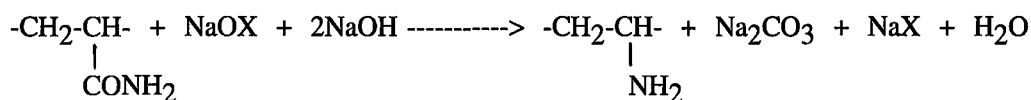
- กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบสารละลาย (solution polymerization) โดยนำอะครีลาไมด์มาละลายน้ำ และใช้ตัวกำเนิดอนุมูลอิสระประเภทเปอร์ออกไซด์ เปอร์ซัลเฟต แสงอัลตราไวโอเลต (UV) ไอออนไนซ์ก๊าซพลาสมา (ionized gas plasma) เป็นต้น
- กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบสถานะของแข็ง (solid state polymerization) อะครีลาไมด์สามารถถูกพอลิเมอร์ไรซ์ในสถานะของแข็ง โดยใช้ไอออนไนซ์ซึ่งเรดิเอชัน (ionizing radiation)
- กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบระบบอื่น (polymerization in other systems) เช่น การพอลิเมอร์ไรซ์ในสถานะหลอมเหลวโดยใช้แสง UV เป็นตัวกำเนิดอนุมูลอิสระ
- กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันเชิงการค้า (commercial polymerization) เป็นวิธีที่ใช้กันมากในระดับห้องทดลอง เช่น การใช้วิธีอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน (water-in-oil emulsion) หรือการใช้กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันในสารละลายน้ำ โดยใช้ x-ray หรือรังสีแกมมาเป็นตัวกำเนิด
- โคพอลิเมอร์ไรเซชัน (copolymerization)
- โคพอลิเมอร์แบบกราฟท์และบล็อก (graft and block polymer)

กระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบไอออนิก (Ionic polymerization)

พอลิอะครีลาไมด์เป็นพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้และมีลักษณะที่ไม่มีประจุ มีประสิทธิภาพสูงในการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นพอลิอิเล็กโตรไลต์ อนุพันธ์ของพอลิอะครีลาไมด์ที่มีประจุสามารถเตรียมได้โดยการนำพอลิอะครีลาไมด์ทำปฏิกิริยาเคมีที่หมู่เอไมด์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มี 2 ชนิด ได้แก่ อนุพันธ์แบบประจุลบโดยการทำปฏิกิริยาซัลโฟเมทิลेशनด้วยฟอร์มาลดีไฮด์และโซเดียมไบซัลไฟต์ อนุพันธ์แบบประจุบวก โดยการทำปฏิกิริยาการสลายตัวแบบฮอฟแมน ด้วยอัลคาไล และไฮโปเฮไลต์ หรือโดยการทำปฏิกิริยาอะมิโนเมทิลेशन (แมนนิช) ด้วยฟอร์มาลดีไฮด์และเอมีน[13] การทำปฏิกิริยาดังกล่าวจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

การสลายตัวแบบฮอฟแมน (Hofmann Degradation)

เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงพอลิอะคริลาไมด์ไปเป็นอนุพันธ์แบบประจวบกร ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังนี้



รูป 2.12 แสดงการเกิดปฏิกริยาการสลายตัวแบบฮอฟแมนของพอลิอะคริลาไมด์
(X คือ โบรมีน หรือคลอรีน)

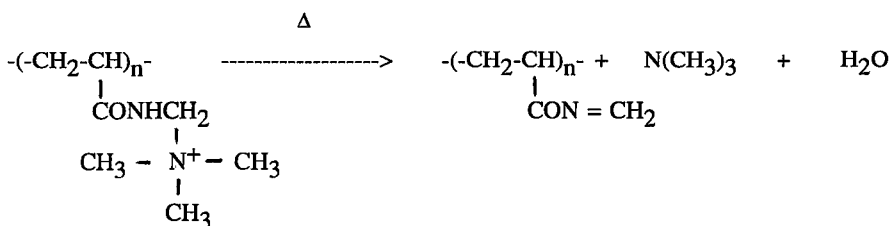
ปฏิกริยาแมนนิช (Mannich Reaction)

เป็นชื่อเฉพาะที่ใช้ในการเรียกปฏิกริยาอะมิโนอัลคิเลชัน (Aminoalkylation) ซึ่งเป็นปฏิกริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับไดอัลคิลเอมีนแบบปฐมภูมิหรือแบบทุติยภูมิที่มีอะตอมคาร์บอน 1-4 อะตอม[5] ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้อาจอยู่ในรูปของแข็งคือ พาราฟอร์มัลดีไฮด์ (para formaldehyde) แต่นิยมใช้ในรูปของสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ 20-40% มากกว่าไดอัลคิลามีน (dialkylamines) ที่นิยมใช้มักมีจำนวนหมู่อัลคิลต่ำและสามารถละลายน้ำได้ เช่น ไดเมทิลามีน ไดเอทิลามีน เอ็น-เอ็น-เมทิลเอทิลามีน (N-N-methyl ethylamine) เป็นต้น

นายแมคโดนัลและนายบืออาเวอร์[12] ได้ศึกษาวิถีทางของการเกิดปฏิกริยาโดยใช้เครื่อง NMR พบว่าปฏิกริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้คาร์บอนอะตอม ^{14}C หรือ C^* กับไดเอทิลามีน มีกลไกการเกิดปฏิกริยาต่อไปนี้

ต้องมีการควบคุมสภาวะต่างๆในการทำปฏิกิริยาให้ดี เช่น ควบคุมเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา หากอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงกว่า 80°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาควรต่ำกว่า 15 นาที ถ้าใช้เวลามากกว่านี้อาจทำให้เกิดการสลายตัวทางเคมีได้ นอกจากนี้ความเข้มข้นและอัตราส่วนระหว่างปริมาณของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อปริมาณไดอัลคิลแอมีนก็มีผลเช่นกัน อัตราส่วนที่เหมาะสม (FA:DMA) อยู่ในช่วง 0.85-0.95 โมลต่อโมล จึงทำให้อะมิโนเมทิลเลตที่เกิดขึ้นมีความเสถียร ถ้าอัตราส่วนสูงเกินไป (นั่นคือปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์มากเกินไป) จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ถ้าอัตราส่วนต่ำเกินไป (นั่นคือปริมาณ DMA มากเกินไป) จะเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงพวกอะมิโนชนิดอื่นที่ไม่ต้องการ และควรหลีกเลี่ยงการกวนที่รุนแรง เพราะจะมีผลทำให้น้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ลดลงได้

ก่อนที่จะทำปฏิกิริยาควอเตอร์ไนซ์ต้องปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 8.4-8.7 โดยอาจปรับด้วยกรดอะซิติก และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาไม่ควรจะสูงเกินไป มิฉะนั้นอาจเกิดปฏิกิริยาการกำจัดแบบฮอฟแมน (Hofmann elimination)[4] ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังแสดงในรูป 2.15



รูป 2.15 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดแบบฮอฟแมนที่เกิดขึ้นกับ QCPAM

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี

สารเคมี	เกรด	บริษัทผู้ผลิต
1. พอลิอะคริลาไมด์	การค้า	Siam Resin & Chemical Co.,Ltd
2. โปแตสเซียมไนเตรต	วิเคราะห์	Carbo Erba
3. กรดไนตริก	วิเคราะห์	Merck
4. ฟอर्मัลดีไฮด์ 37 %	วิเคราะห์	Carbo Erba
5. ไดมethylเอมีน 40 %	วิเคราะห์	Fluka Chemical
6. ไดมethylซัลเฟต	วิเคราะห์	Fluka Chemical
7. แอมโมเนียมคลอไรด์	วิเคราะห์	Fluka Chemical
8. โซเดียมไฮดรอกไซด์	วิเคราะห์	Fluka Chemical
9. น้ำกลั่น	การค้า	องค์การเบตเตอร์

เครื่องมือ

1. เครื่องกวนเชิงกล (Mechanical stirrer) รุ่น R 20-E บริษัท Franz KG (GmbH & Co.) จำกัด
2. ไซฟองกวน (รูปสี่เหลี่ยม)
3. เทอร์โมมิเตอร์ 0-100 °ซ
4. อ่างน้ำ (water bath) พร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ รุ่น Buchi 461 บริษัท Buchi จำกัด
5. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น MCT Analytic AC 210S บริษัท Sact Rius จำกัด
6. เครื่องกรองสุญญากาศ รุ่น A-3S บริษัท Tokyorikakikai จำกัด
7. เครื่องกวนเชิงกลแบบแม่เหล็ก รุ่น M 21/1 บริษัท Framo- Geratetechnik จำกัด
8. เครื่องบดรุ่น Retsch Type RMO บริษัท GmbH & Co. KG จำกัด

9. เครื่องแก้วต่างๆที่มีความจำเป็นในห้องปฏิบัติการ เช่น บีกเกอร์ ขวดวัดปริมาตร กรวยแก้ว บิวเรต ปิเปต เป็นต้น
10. หม้อปฏิกิริยาขนาด 2000 มล. บริษัท PYREX จำกัด
11. เครื่องไทเทรทอัตโนมัติ บริษัท SCHOOT GERATE จำกัด รุ่น TITRONIC T200
12. เครื่องกลั่นแบบ Rotavapor รุ่น RE 120 บริษัท Buchi จำกัด

3.2 วิธีทดลอง

3.2.1. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมเนนิซของพอลิอะคริลาไมด์

การวางแผนการทดลองทำปฏิกิริยาเมเนนิซของพอลิอะคริลาไมด์

ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมเนนิซ ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณ FA และ DMA ต้องทำการทดลองจำนวนมาก แต่จากการนำความรู้ทางด้านสถิติมาใช้สามารถลดจำนวนการทดลองลงได้มาก โดยการทดลองดำเนินตามลำดับขั้นดังนี้

1. ทดลองหาปริมาณ FA และ DMA ที่เหมาะสม (การทดลองที่ 1-14) จากข้อมูลที่ได้
2. นำมาใช้หาอุณหภูมิที่เหมาะสม (การทดลองที่ 15-20)
3. เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม หาได้จากการทดลองที่ 1-20
4. จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ 1-20 นำไปใช้หาอัตราส่วน FA:DMA ที่เหมาะสม (การทดลองที่ 21-22)

การสังเคราะห์ QCPAM

1. เติมน้ำกลั่นลงในหม้อปฏิกิริยาประมาณ 600 มล. ควบคุมให้ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ จากนั้นเติมพอลิอะคริลาไมด์ลงไป 3.00 ก. ทำการกวนโดยเครื่องกวนเชิงกลด้วยความเร็ว 160 รอบ/นาที จนกระทั่งได้สารละลายใสค่อนข้างหนืด แล้วจึงเติมสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 37% และไดเมทิลเอมีน 40% ในปริมาณที่ต้องการลงไป ทำการกวนต่อไปตามเวลาที่กำหนด (อาจมีการปรับค่า pH ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์)
2. ลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.5 ก. และเติมไดเมทิลซัลเฟต 0.60 มล. ปั่นกวนต่อไปเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3. นำสารละลายที่ได้มาตกตะกอนในอะซิโตน โดยใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรของสารพอลิเมอร์ต่ออะซิโตนเท่ากับ 1:2
4. นำพอลิเมอร์ไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 40-60°C แล้วนำไปบดให้เป็นผงเพื่อนำไปทดสอบในขั้นต่อไป
5. นำอะซิโตนที่ใช่แล้วไปกลั่นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 1-5 โดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 30 หรือ 40 หรือ 50°C เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 หรือ 2 หรือ 3 ชม. และปริมาณ FA และ DMA ดังแสดงในตาราง 3.1

3.2.2 การทดสอบและการวิเคราะห์

ค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorbency)

ชั่ง QCPAM 0.10 ก. ใส่ลงไปในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่นอยู่ประมาณ 50 มล. คนให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จากนั้นนำไปกรองแบบสูญญากาศ (Bushman funnel) โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 นำ QCPAM ที่ดูดซึมน้ำแล้วไปชั่งน้ำหนัก ทำการทดลองซ้ำอีกอย่างน้อย 1 ครั้งตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้ว แล้วหาค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำ ค่าการดูดซึมน้ำคำนวณได้จาก

$$\text{ค่าการดูดซึมน้ำ (ก./ก.)} = (A-B)/B$$

A : น้ำหนักของ QCPAM ที่ดูดซึมน้ำแล้ว (ก.)

B : น้ำหนักของ QCPAM เริ่มต้น (ก.)

การหาปริมาณประจุบวก (N⁺)

ชั่ง QCPAM 0.0125 ก. (X ก.) แล้วทำการละลายในน้ำกลั่น 25 มล. จนละลายหมดหรือเกิดการบวมตัวสูงสุด (ใช้เวลาประมาณ 30 นาที) นำไปไตเตรตด้วยสารละลาย กรดไนตริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ จนความเป็นกรดต่างมีค่าประมาณ 3 และไตเตรตกลับ (Back titration) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ จนความเป็นกรดต่างมีค่าประมาณ 11 โดยใช้เครื่องไตเตรตอัตโนมัติหาจุดสมมูล (End point) โดยการหาอนุพันธ์อันดับ 1 (โปรแกรมภาษา QBASIC

รอตโนมติหาจุดสมมูล (End point) โดยการหาอนุพันธ์อันดับ 1 (โปรแกรมภาษา QBASIC ดังแสดงในภาคผนวก ข)

ปริมาณไนโตรเจนประจุบวกสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \%N^+ &= (\text{ปริมาณ } N^+ \text{ จากการทดลอง} / \text{ปริมาณ } N^+ \text{ จากทฤษฎี}) * 100 \\ &= (W/Z) * 100 \end{aligned}$$

ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ = ความเข้มข้นสารละลายกรดไนตริก = 0.5 โมล/ลิตร

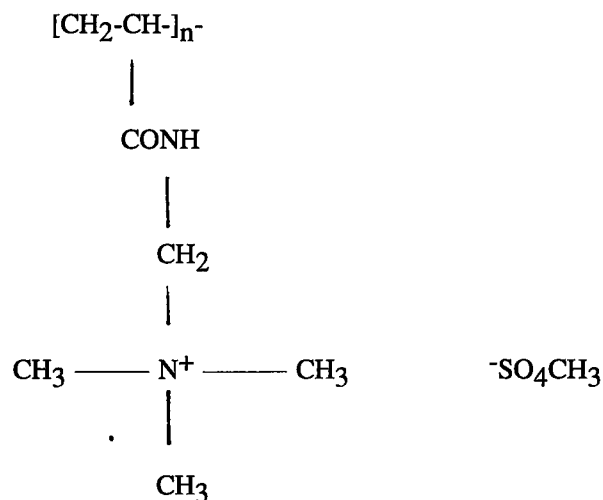
ปริมาตรของสารละลายกรดไนตริกที่ใช้ = A มล.

ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ = B มล.

ปริมาณของไนโตรเจนประจุบวก (โมล) ที่ได้จากการทดลอง = $(0.5 * A) - (0.5 * B) = W$ โมล

โดยปริมาณของไนโตรเจนประจุบวก (โมล) ตามทฤษฎี คำนวณได้ดังนี้

ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ



พอลิเมอร์หนึ่งหน่วยซ้ำหนัก 254 ก. มี N^+ 14 ก.

X ก. มี N^+ Y ก. หรือ Z โมล (Y/14)

การหาปริมาณสารแขวนลอย (Suspended solid , SS)

อบกระดาษกรอง Whatman GF/C ให้แห้งที่ 90-100°C (ประมาณ 1 ชม.) นำไปเก็บในเคชเคเตอร์ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (A มก.) ชั่ง โพลีเมอร์ในปริมาณที่ต้องการ ละลายในน้ำกลั่น 10 มล. ทำการปั่นกวนจนโพลีเมอร์ละลายหมดหรือเกิดการบวมตัวอย่างสมบูรณ์ (ประมาณ 30 นาที) เทตัวอย่างน้ำเสียลงไป 50 มล. ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องกวนเชิงกลแบบแม่เหล็กด้วยอัตราเร็วสูงสุด (1100 รอบ/นาที) เป็นเวลา 30 วินาที แล้วลดความเร็วลงให้เหลือเพียง 1/4 ของความเร็วสูงสุด ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 2 นาที แล้วเทน้ำส่วนบน 20 มล. มากรองโดยใช้บุชเนอร์ และกระดาษ Whatman GF/C จากนั้นนำไปอบที่ 90-100°C ประมาณ 1 ชม. หรือจนกว่าน้ำหนักคงที่ นำไปชั่งน้ำหนัก (B มก.) แล้วทำการทดลองซ้ำอีก 1 ครั้ง ปริมาณสารแขวนลอยคำนวณได้จาก

$$SS \text{ (มก./ลบ.ดม.)} = ((B-A) \cdot 1000) / \text{ปริมาณน้ำตัวอย่าง(มล.)}$$

% ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน (Flocculation efficiency) คำนวณได้จาก

$$[(SS \text{ Blank} - SS \text{ ที่ได้}) / SS \text{ Blank}] \cdot 100$$

ทำการทดลองอย่างน้อยอีก 1 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน

หมายเหตุ 1. ต้องมีการทำแบลนด์ทุกครั้งที่มีการเก็บตัวอย่างน้ำ

2. น้ำตัวอย่างควรมีปริมาณสารแขวนลอยมากกว่า 2.5 มก.

3. % ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนสามารถนำข้อมูลมาใช้ศึกษา

3.1 ปริมาณการใช้ QCPAM ที่เหมาะสม

3.2 หา pH ที่เหมาะสมในการ Flocculation โดยนำสภาวะที่ได้จากข้อ 1 มาใช้ (ทำการปรับ pH โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายโซเดียม

ไฮดรอกไซด์

3.3 หาประสิทธิภาพของ QCPAM ที่เตรียมได้ โดยนำสภาวะที่ได้จากข้อ 2 และ 3 มาใช้

ตาราง 3.1

แสดงปริมาณ FA และ DMA อัตราส่วนโดยโมลของ FA ต่อ DMA อุณหภูมิและเวลา ที่ใช้
ในการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาแมนนิชของพอลิอะคริลาไมด์

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา(ชม.)	FA		DMA		FA:DMA
			โมล	มล.	โมล	มล.	
1	40	1	0.05	3.75	0.05	6.34	1.00
2	40	1	0.04	3.00	0.04	5.07	1.00
3	40	1	0.03	2.25	0.03	3.80	1.00
4	40	1	0.02	1.50	0.02	2.54	1.00
5	40	1	0.01	0.75	0.01	1.27	1.00
6	40	2	0.05	3.75	0.05	6.34	1.00
7	40	2	0.04	3.00	0.04	5.07	1.00
8	40	2	0.03	2.25	0.03	3.80	1.00
9	40	2	0.02	1.50	0.02	2.54	1.00
10	40	2	0.01	0.75	0.01	1.27	1.00
11	40	3	0.05	3.75	0.05	6.34	1.00
12	40	3	0.04	3.00	0.04	5.07	1.00
13	40	3	0.03	2.25	0.03	3.80	1.00
14	40	3	0.02	1.50	0.02	2.54	1.00
15	50	1	0.03	2.25	0.03	3.80	1.00
16	50	2	0.03	2.25	0.03	3.80	1.00
17	50	3	0.03	2.25	0.03	3.80	1.00
18	30	1	0.03	2.25	0.03	3.80	1.00
19	30	2	0.03	2.25	0.03	3.80	1.00
20	30	3	0.03	2.25	0.03	3.80	1.00
21	40	3	0.029	2.14	0.03	3.80	0.95
22	40	3	0.027	2.03	0.03	3.80	0.90

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองพบว่า สภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาแมนนิช ได้แก่ เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณโคเมทิลเอมีนและฟอร์มาลดีไฮด์ มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนประจุบวกและค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ซึ่งมีอิทธิพลโดยตรงต่อประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน (Flocculation efficiency, FE) นอกจากนี้ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนของพอลิเมอร์ยังขึ้นอยู่กับสภาวะการใช้งานด้วย เช่น pH ของน้ำทิ้ง และปริมาณของ QCPAM ที่ใช้ รายละเอียดเกี่ยวกับผลการทดลองและวิจารณ์ มีดังต่อไปนี้

4.1 ปริมาณการเกิดการเกิดผลิตภัณฑ์ (% Yield)

ในการทดลองนี้สามารถเตรียม QCPAM ได้ประมาณ 33-60% ดังข้อมูลปรากฏในตาราง 4.1 เป็นที่น่าสังเกตว่า ในกรณีที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิ และปริมาณสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยามาก QCPAM ที่เตรียมได้จะมีสีโทนเหลืองกับน้ำตาล ซึ่งอาจเกิดจากการสลายตัวหรือเกิดการเชื่อมโยงระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์กับ QCPAM

4.2 อิทธิพลของอัตราส่วนของสารละลาย QCPAM ต่อปริมาณน้ำทิ้ง

จากรูป 4.1 พบว่าประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนสูงสุดที่อัตราส่วนระหว่างสารละลาย QCPAM ต่อปริมาณน้ำทิ้งที่ 1:7 (89.52%) มีค่ามากกว่าที่อัตราส่วน 1:5 (76.66%) และที่อัตราส่วน 1:2 (70.02%) ตามลำดับ เนื่องจากถ้าอัตราส่วนมาก (กล่าวคือปริมาณพอลิเมอร์มาก) อนุภาคแขวนลอยมีโอกาสเกิดความเสถียรอีกครั้งได้ จึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทดลองนี้คือ 1:5 แม้ว่าอัตราส่วน 1:7 ทำให้ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนสูงสุดมีค่าสูงสุด อย่างไรก็ตาม ณ จุดที่ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนสูงสุด QCPAM มีปริมาณประจุบวกสูง (ประมาณ 75%) ซึ่งต้องใช้สภาวะในการสังเคราะห์ เช่น อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่รุนแรง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสี นอกจากนี้ถ้าใช้พอลิเมอร์ที่มีปริมาณประจุสูงทำให้ pH ของสารละลายในระบบหลังบำบัดมีค่าสูงอีกด้วย ดังแสดงในตาราง 4.3 และรูป 4.2

4.3 อิทธิพลของความเข้มข้นสารละลาย QCPAM และสภาพ pH ของน้ำทิ้งที่มีต่อประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน

จากรูป 4.3 พบว่า ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ QCPAM ซึ่งมีความเข้มข้นสูง หากความเข้มข้นเกิน 2% นน./ปริมาตร ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนลดลงเนื่องจากปริมาณ QCPAM ที่มากเกินไป ทำให้อนุภาคแขวนลอยเกิดความเสถียรและชอบแขวนลอยอยู่ในน้ำเช่นเดิม (Restabilization) จากโครงการพิเศษนี้พบว่าความเข้มข้นของ QCPAM ที่เหมาะสม คือ 2% นน./ปริมาตร

จากรูป 4.4 พบว่า ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของน้ำทิ้งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อ pH มีค่า 5-7 เนื่องจากโปรตอนจับกับประจุลบที่อยู่บนพื้นผิวอนุภาคแขวนลอยได้น้อยลง ทำให้โอกาสที่ประจุบวกของ QCPAM จับกับประจุลบที่อยู่บนพื้นผิวอนุภาคแขวนลอยเพิ่มขึ้น แต่ในช่วง pH มีค่า 7-9 ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนลดลงเมื่อ pH ของน้ำทิ้งมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากไอออนลบจะจับกับประจุบวกของ QCPAM ทำให้โอกาสที่ประจุบวกของ QCPAM จับกับประจุลบที่อยู่บนพื้นผิวอนุภาคแขวนลอยน้อยลง น้ำทิ้งที่มีสภาพ pH เป็นกลาง มีความเหมาะสมต่อการช่วยเร่งการตกตะกอนด้วย QCPAM มากที่สุด

จากหัวข้อ 4.2-4.3 สามารถสรุปได้ว่า ก่อนที่จะทำการทดสอบประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน ต้องมีการปรับสภาพ pH ของน้ำทิ้งให้เป็นกลางก่อน สารละลาย QCPAM ควรมีความเข้มข้นประมาณ 2% น้ำหนัก/ปริมาตร ในอัตราส่วนโดยปริมาตรของสารละลาย QCPAM ต่อปริมาณน้ำทิ้งเท่ากับ 1:5

4.4 การศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ QCPAM

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาแมนนิช 40°C สามารถเตรียม QCPAM ที่มีประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน(รูป 4.5) ค่าการดูดซึมน้ำ(รูป 4.6) และปริมาณประจุบวก(รูป 4.7) มีค่าสูงสุด ที่อุณหภูมิ 30°C การเกิดปฏิกิริยาเป็นไปในอัตราส่วนที่ช้ากว่าที่อุณหภูมิ 40°C QCPAM ที่เตรียมได้จึงมีปริมาณประจุบวกต่ำกว่าที่เตรียมจากอุณหภูมิ 40°C ส่งผลให้ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนและค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าด้วย การทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50°C ผลลัพท์อาจเกิดการสลายตัวหรือเกิดการเชื่อม โยงได้ ทำให้ค่าต่างๆดังที่ได้กล่าวมาแล้วมีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 40°C

เป็นที่น่าสังเกตว่า ณ อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 40°C ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนของ QCPAM ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชม. ต่ำกว่าที่ 2 ชม. (รูป 4.5) เนื่องจากปริมาณประจุบวกของ QCPAM มีค่ามากเกินไป (รูป 4.6) อนุภาคแขวนลอยจึงเกิดความเสถียรอีกครั้งหนึ่งโดยการที่ประจุบวกของพอลิเมอร์ทำการห่อหุ้มอนุภาคแขวนลอยมากกว่าจะทำหน้าที่ในการดึงดูดอนุภาคแขวนลอยมาจับเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ขึ้นเพื่อให้เกิดการตกตะกอนลงมา สรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาแมนนิซ คือที่อุณหภูมิ 40°C

4.5 การศึกษาถึงปริมาณสารตั้งต้นที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ QCPAM

ปริมาณที่เท่ากันของไดเมทิลเอมีนและฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้น QCPAM ที่สังเคราะห์ได้จากการทำปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิ 40°C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 2 และ 3 ชม.ตามลำดับ มีปริมาณไนโตรเจนบวกเพิ่มขึ้น (รูป 4.8) ความสามารถในการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น (รูป 4.9) เป็นฟังก์ชัน กับปริมาณสารตั้งต้นทั้งสอง ส่งผลให้ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนเพิ่มขึ้นด้วยตามลำดับ (รูป 4.10) ยกเว้นในกรณีที่ทำปฏิกิริยา 3 ชม. ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนลดลงเมื่อปริมาณสารตั้งต้นทั้งสองเพิ่มจาก 0.03 โมลเป็น 0.04 โมล เนื่องจากปริมาณประจุบวกมีมากเกินไปทำให้อนุภาคแขวนลอยมีความเสถียรในการแขวนลอยอีกครั้งหนึ่ง ในกรณีที่ใช้ปริมาณไดเมทิลเอมีนและฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากันเท่ากับ 0.03-0.05 โมล ปริมาณไนโตรเจนบวก (รูป 4.8) และความสามารถในการดูดซึมน้ำ (รูป 4.9) ของ QCPAM ที่สังเคราะห์ได้ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นน่าจะส่งผลให้ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนคงที่ด้วย แต่จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนลดลง (รูป 4.10) ในกรณีที่ QCPAM ใช้เวลาในการสังเคราะห์นาน 2 และ 3 ชม. ซึ่ง QCPAM นี้มีปริมาณไนโตรเจนบวกประมาณ 60-63% และ 70-73% ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนบวกดังกล่าวมากเกินไปจึงส่งผลให้อนุภาคแขวนลอยมีความเสถียรในสภาพของการแขวนลอยอีกครั้งหนึ่ง จากการศึกษาส่วนนี้สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณไดเมทิลเอมีนและฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหมาะสมมีปริมาณเท่ากันเท่ากับ 0.03 โมล

4.6 การศึกษาอิทธิพลอัตราส่วนและปริมาณสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ QCPAM

จากหัวข้อ 4.5 ปริมาณไดเมทิลเอมีนต่อปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ในอัตราส่วน 1:1 เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราส่วนของสารตั้งต้นทั้งสองที่มีผลต่อสมบัติของ QCPAM ที่สังเคราะห์ได้ จึงได้ทดลองให้อัตราส่วนปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่อปริมาณไดเมทิลเอมีนเปลี่ยนแปลงจาก 1:0.90

ลองให้อัตราส่วนปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ต่อปริมาณไคเมทิลเอมีนเปลี่ยนแปลงจาก 1:0.90 เป็น 1:0.95 และ 1:1 ตามลำดับ

จากรูป 4.11 และรูป 4.12 พบว่า QCPAM ที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณไนโตรเจนบวกและค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันกับอัตราส่วนโดยโมลของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อไคเมทิลเอมีน ซึ่งควรส่งผลให้ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่จากการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วนโดยโมลของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อไคเมทิลเอมีนเท่ากับ 1:1 ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนลดลงน้อยกว่าที่อัตราส่วน 0.90 และ 0.95 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากรูป 4.11 พบว่าปริมาณไนโตรเจนบวกที่อัตราส่วนโดยของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อไคเมทิลเอมีนเท่ากับ 1:1 มีค่าประมาณ 70% ซึ่งมากเกินไป จึงทำให้เกิดความเสถียรของอนุภาคแขวนลอยอีกครั้งหนึ่งดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

4.7 การศึกษาอิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการสังเคราะห์ QCPAM

ในส่วนนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 1 หรือ 2 หรือ 3 ชม. ของแต่ละอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 30°C 40°C และ 50°C

จากผลการทดลองดังแสดงในรูป 4.13 และ 4.14 พบว่าเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยายาวนานขึ้น ปริมาณไนโตรเจนบวกและค่าการดูดซึมน้ำของ QCPAM ที่สังเคราะห์ได้เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยแนวโน้มนี้เหมือนกันทุกกรณี แม้ว่าจะทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างกันก็ตาม

จากรูป 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน เป็นที่สังเกตว่า ณ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 40°C เวลาในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน แต่ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนของ QCPAM มีความแตกต่างกันน้อยมาก โดยเฉพาะเมื่อเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานาน 3 ชม. ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนต่ำมากที่สุด จากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ผ่านมาทราบว่าปริมาณไนโตรเจนบวกมีผลต่อประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน เมื่อพิจารณาประกอบกับรูป 4.13 ณ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานาน 3 ชม. ปริมาณไนโตรเจนประจุบวกประมาณ 70% ซึ่งมากเกินไป จึงทำให้อนุภาคแขวนลอยเกิดความเสถียรอีกครั้งหนึ่ง สำหรับเวลาในการทำปฏิกิริยานาน 1 ชม. และ 2 ชม. ปริมาณไนโตรเจนบวกประมาณ 37% และ 60% ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนแตกต่างกันเพียงประมาณ 10% แสดงว่าเมื่อปริมาณไนโตรเจนประจุบวกมีปริมาณมากถึงจุดหนึ่ง ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนมีความแตกต่างกันน้อยมาก แม้ว่าปริมาณไนโตรเจนบวกจะมากขึ้นอย่างเด่นชัด ในการ

ศึกษาส่วนนี้พบว่า ณ อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาที่ 40°C เวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาประมาณ 2 ชม.

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองตามหัวข้อ 4.4-4.7 พบว่า

1. ปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน คือ ปริมาณไนโตรเจนประจุบวกในโมเลกุล QCPAM ปริมาณประจุบวกที่มากเกินไปจะไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนได้ ในทางกลับกันทำให้ประสิทธิภาพลดลง แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่ามีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน
2. ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ QCPAM ได้แก่ เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งมีผลต่อปริมาณไนโตรเจนบวกในโมเลกุล QCPAM ด้วย อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาประมาณ 40°C โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชม. จะได้ QCPAM มีความสามารถในการดูดซับน้ำเท่ากับ 79.59 ก./ก. และประสิทธิภาพการช่วยเร่งการตกตะกอนเท่ากับ 76.66%

4.8 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน ปริมาณไนโตรเจนบวก และ ค่าการดูดซึมน้ำ

จากข้อสรุปดังกล่าวข้างต้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนกับปริมาณไนโตรเจนบวกและค่าการดูดซึมน้ำ และความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับปริมาณไนโตรเจนบวก จากรูป 4.17 พบว่าประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณประจุบวกเพิ่มขึ้น เนื่องจากประจุบวกสามารถจับกับประจุลบที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาคแขวนลอยได้มากขึ้น ปริมาณ ไนโตรเจนบวกประมาณ 55% ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนจะมากที่สุดประมาณ 75% หากปริมาณไนโตรเจนบวกมากกว่า 55% ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนลดลงเนื่องจากปริมาณไนโตรเจนบวกที่มากเกินไปทำให้อนุภาคแขวนลอยเกิดเสถียรภาพอีกครั้งหนึ่ง (Restabilize)

จากรูป 4.18 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเป็นอัตราส่วนผกผันเชิงเส้นตรงกับปริมาณไนโตรเจนบวก จึงส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนและค่าการดูดซึมน้ำ (รูป 4.19) คล้ายคลึงกับความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนกับปริมาณไนโตรเจนบวก

(รูป 4.17) และสามารถกล่าวได้ว่าค่าการดูดซึมน้ำของ QCPAM ไม่ใช่ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน

4.9 โครงสร้างเคมี QCPAM

โครงสร้างเคมีของ QCPAM ตรวจสอบโดยใช้เทคนิค FTIR โดยพิกที่ปรากฏบนสเปกตรัม IR บ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะของหมู่ต่างๆของโมเลกุล ณ ตำแหน่งความยาวคลื่นเฉพาะ จากสูตรโมเลกุลของ QCPAM ดังแสดงในรูป 4.20 ประกอบด้วยหมู่ต่างๆดังนี้ N-H Stretching C-H Stretching C=O Stretching C-H Bending Sulfonate salts Organic sulfates จากสเปกตรัม IR พบพิกที่แสดงในรูป 4.20 (แสดงการดูดกลืนแสง) ณ เลขคลื่นต่างๆดังแสดงในตาราง 4.10 นั้นสามารถสรุปได้ว่า โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากการศึกษานี้คือ QCPAM

4.10 การประมาณราคา QCPAM สังเคราะห์

ตาราง 4.11 แสดงชนิดและราคาสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ QCPAM ซึ่งใช้ประมาณราคา QCPAM

QCPAM ที่เตรียมได้จากการทดลองที่ 8 มีปริมาณไนโตรเจนบวกเท่ากับ 59.94% ให้ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน 76.66% และค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 79.59 ก./ก. คาดคะเนราคาได้ดังนี้

สารเคมี	ปริมาณ	ราคา(บาท)
ฟอร์มาลดีไฮด์	2.25 มล.	0.73
ไคเมทิลซัลเฟต	0.60 มล.	0.45
แอมโมเนียมคลอไรด์	0.50 ก.	0.30
ไคเมทิลเอมีน	3.80 มล.	2.47
พอลิอะคริลาไมด์	3.0000 ก.	0.48
QCPAM ที่เตรียมได้	3.0765 ก.	4.43

QCPAM เตรียมได้จำนวน 3.0765 ก. ราคาสารเคมีตั้งต้นที่ใช้เท่ากับ 4.43 บาท ดังนั้น QCPAM ราคา 1440.00 บาท/1 กิโลกรัม

ในการใช้งานเตรียม QCPAM ในน้ำ 2% น้ำหนักโดยปริมาตร ดังนั้นราคา QCPAM ในน้ำ 1 ลิตร เท่ากับ 28.80 บาท

ตาราง 4.1
 แสดงน้ำหนักที่ได้ % Yield และลักษณะทางกายภาพ

การทดลอง	น้ำหนัก (ก.)	%ผลิตภัณฑ์ที่เตรียม ได้(%Yield)	สีของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้
1	3.6193	59.80	เหลืองปนน้ำตาลอ่อน
2	3.8913	47.88	เหลืองปนน้ำตาลอ่อน
3	2.7277	45.18	ขาวปนเหลือง
4	2.6897	44.55	ขาว
5	2.5834	42.78	ขาว
6	3.3190	54.88	เหลืองปนน้ำตาล
7	3.1072	51.46	เหลืองปนน้ำตาล
8	3.0765	50.94	เหลืองปนน้ำตาล
9	2.9158	48.27	เหลืองปนน้ำตาลอ่อน
10	2.6875	44.46	เหลืองปนน้ำตาลอ่อน
11	3.7146	61.43	เหลืองปนน้ำตาล
12	3.5642	59.02	เหลืองปนน้ำตาล
13	3.3317	55.17	เหลืองปนน้ำตาลอ่อน
14	2.9893	49.51	เหลืองอ่อน
15	2.9152	48.28	ขาวปนเหลืองอ่อน
16	2.6738	44.24	เหลืองปนน้ำตาลอ่อน
17	3.3317	55.18	เหลืองปนน้ำตาล
18	2.1096	34.94	ขาวปนเหลืองอ่อน
19	2.0093	33.26	ขาวปนเหลืองอ่อน
20	3.1406	52.04	เหลืองอ่อน
21	2.4203	40.01	เหลืองอ่อน
22	3.0420	50.26	เหลืองออกน้ำตาล

ตาราง 4.2

แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนของสารละลาย QCPAM ต่อปริมาณน้ำทิ้ง

การทดลอง	อัตราส่วนของสารละลาย QCPAM ต่อปริมาณน้ำทิ้ง		
	1:2	1:5	1:7
1	50.87	70.38	67.46
2	59.19	69.23	58.20
3	66.60	65.38	51.90
4	72.02	55.54	41.15
5	58.71	44.27	30.27
6	38.20	68.45	81.84
7	40.01	70.89	79.46
8	45.99	76.66	73.05
9	50.21	73.70	62.31
10	70.02	60.24	48.88
11	31.80	63.11	88.71
12	32.32	64.93	89.52
13	40.31	62.92	88.47
14	40.16	70.78	82.54

ตาราง 4.3

pH ของสารละลายในระบบหลังบำบัดด้วย QCPAM (pH น้ำทิ้งเริ่มต้นมีค่าประมาณ 8)

การทดลอง	pH น้ำทิ้งหลังการบำบัด	การทดลอง	pH น้ำทิ้งหลังการบำบัด
1	8.7	8	9.0
2	8.3	9	8.4
3	8.1	10	7.5
4	7.7	11	9.1
5	6.6	12	9.0
6	9.3	13	9.1
7	8.7	14	8.9

ตาราง 4.4

แสดงผลของความเข้มข้นสารละลาย QCPAM ที่ใช้ และ pH ของน้ำทิ้งที่มีต่อประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน (QCPAM เตรียมได้จากการทดลองที่ 1 และ 2)

การทดลอง	[QCPAM] (% wt.)	FE(%)	pH	ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน
1	1.0	61.52	5	68.62
1	1.5	68.37	6	68.84
1	2.0	70.38	7	70.38
1	2.5	69.43	8	70.25
1	3.0	66.87	9	69.46
2	1.0	60.25	5	68.23
2	1.5	66.97	6	68.63
2	2.0	69.23	7	69.23
2	2.5	68.16	8	69.78
2	3.0	64.73	9	69.11

ตาราง 4.5

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ QCPAM ที่เวลาในการสังเคราะห์ต่างๆ

การทดลอง	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา(ชม.)	FE	%Cation	WA
18	30	1	31.24	23.45	36.01
3	40	1	65.38	36.91	55.69
15	50	1	23.81	12.62	20.02
19	30	2	55.65	39.94	56.99
8	40	2	76.66	59.94	79.59
16	50	2	46.11	30.70	46.85
20	30	3	72.72	54.55	77.07
13	40	3	62.92	68.98	89.42
17	50	3	66.21	48.17	70.00

ตาราง 4.6

แสดงอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ QCPAM ที่อุณหภูมิในการสังเคราะห์ต่างๆ

การทดลอง	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (ชม.)	FE(%)	%Cation	WA (ก./ก.)
18	30	1	31.24	23.45	36.01
19	30	2	55.65	39.94	56.99
20	30	3	72.72	54.55	77.07
3	40	1	65.38	36.91	55.69
8	40	2	76.66	59.94	79.59
13	40	3	62.92	68.98	89.42
15	50	1	23.81	12.62	20.02
16	50	2	46.11	70.70	46.85
17	50	3	66.21	48.17	70.00

ตาราง 4.7

อิทธิพลของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ QCPAM ที่เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ QCPAM

การทดลอง	DMAและFA (โมล)	เวลา (ชม.)	FE(%)	%Cation	WA (ก./ก.)
1	0.05	1	70.38	52.00	71.35
2	0.04	1	69.23	47.37	62.79
3	0.03	1	65.38	36.91	55.69
4	0.02	1	55.54	25.81	41.57
5	0.01	1	44.27	11.47	25.31
6	0.05	2	68.45	63.11	82.72
7	0.04	2	70.89	61.41	78.25
8	0.03	2	76.66	59.94	79.59
9	0.02	2	73.70	50.41	66.02
10	0.01	2	60.24	32.94	51.62
11	0.05	3	63.11	72.01	94.11
12	0.04	3	64.93	71.99	92.20
13	0.03	3	62.92	68.98	89.42
14	0.02	3	70.78	62.94	81.76

ตาราง 4.8

แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ QCPAM

การทดลอง	FA:DMA	FE(%)	% Cation	WA(ก./ก.)
22	0.90	63.16	39.94	56.68
21	0.95	67.67	45.78	68.02
13	1.00	62.92	68.98	89.42

ตาราง 4.9

ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน ปริมาณประจุบวก และค่าการดูดซึมน้ำ

การทดลอง	เวลา (ชม.)	WA(ก./ก.)	% Cation	FE(%)
1	1	71.35	52.00	70.38
2	1	62.79	47.37	69.23
3	1	55.69	36.91	65.38
4	1	41.57	25.81	55.54
5	1	25.31	11.47	44.27
6	2	82.72	63.11	68.45
7	2	78.25	61.41	70.89
8	2	79.59	59.94	76.66
9	2	66.02	50.41	73.30
10	2	51.62	32.94	60.24
11	3	94.11	72.01	63.01
12	3	92.20	71.99	64.93
13	3	89.42	68.98	62.92
14	3	81.76	62.94	70.78

ตาราง 4.10

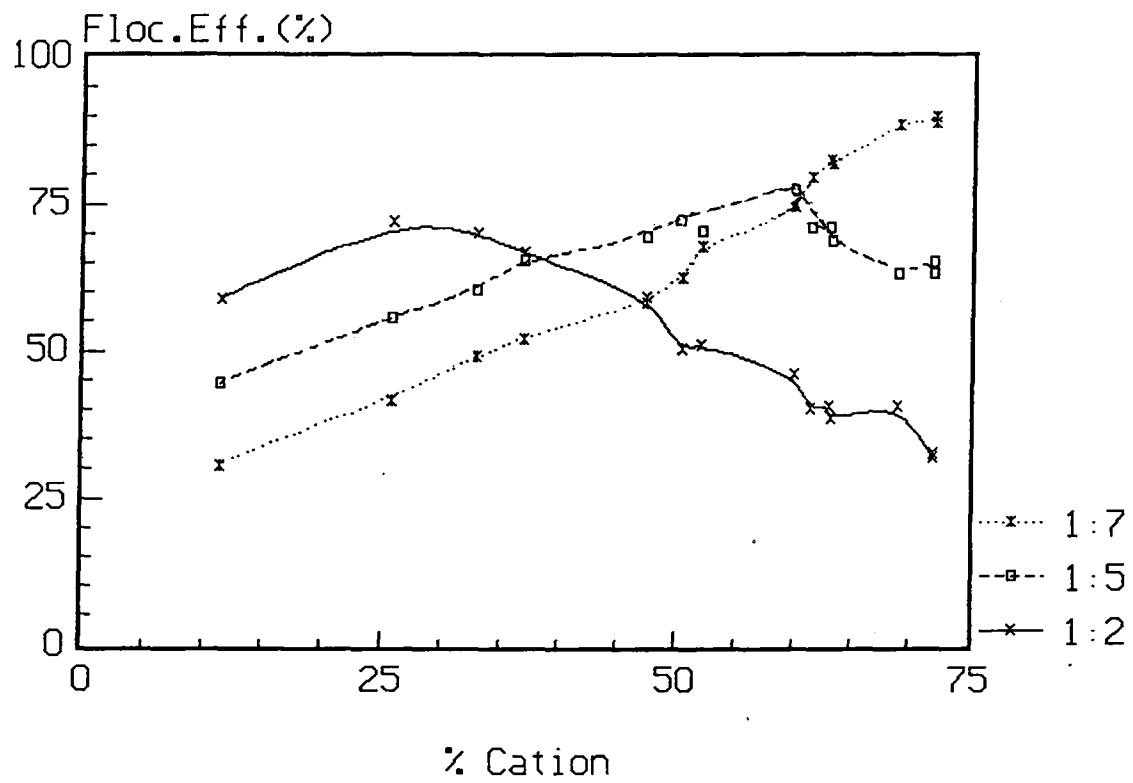
เลขคลื่น และลักษณะเฉพาะของการสั่นของ QCPAM

เลขคลื่น(ซม. ⁻¹)	ลักษณะเฉพาะของการสั่น
QCPAM	
3433	N-H Stretching
2962	C-H Stretching
1672	C=O Stretching
1461	C-H Bending
1227	Sulfonate salts
1006	Sulfonate salts
774	Aryl amine
619	Organic sulfates

ตาราง 4.11

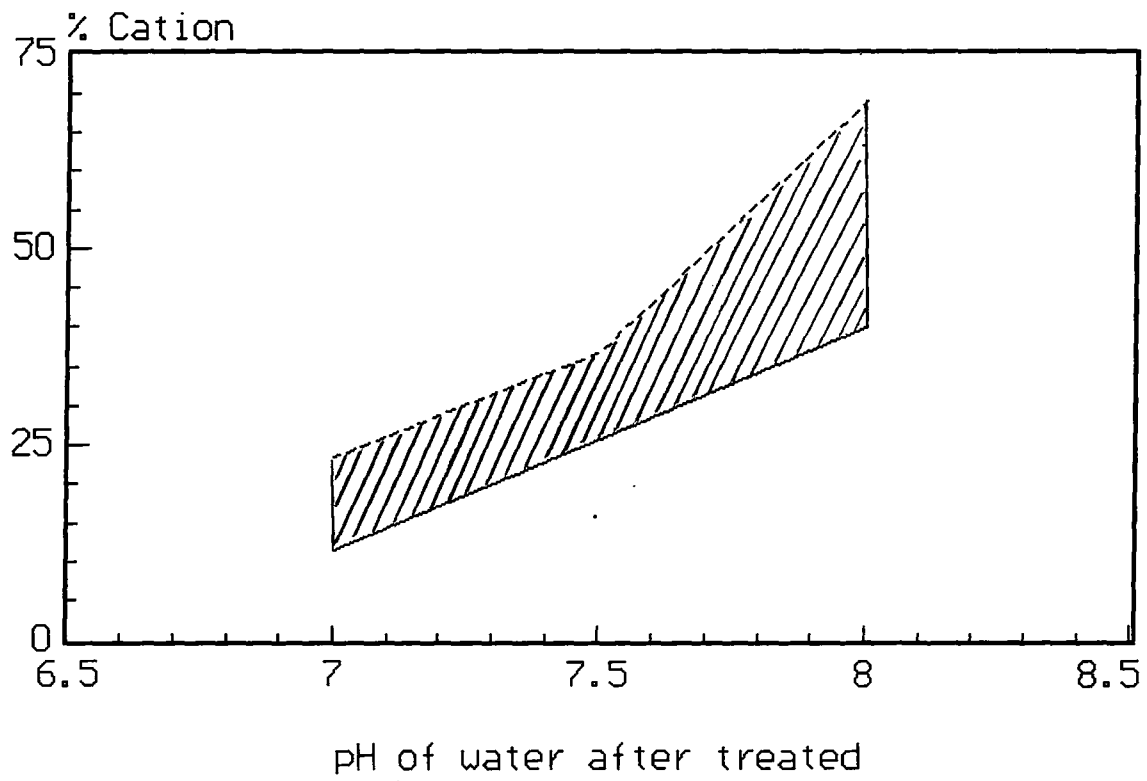
แสดงชนิดและราคาสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ QCPAM ระดับห้องทดลอง

สารเคมี	ราคา
1. ฟอรั่มัลดีไฮด์	650 บาท/ 2 ลิตร
2. ไดเมทิลซัลเฟต	750 บาท/ลิตร
3. แอมโมเนียมคลอไรด์	300 บาท/ 500 กรัม
4. ไดเมทิลเอมีน	650 บาท/ลิตร
5. อะซิโตน	800 บาท/ปีบ
6. พอลิอะคริลาไมด์ (A-120)	160 บาท/กก.



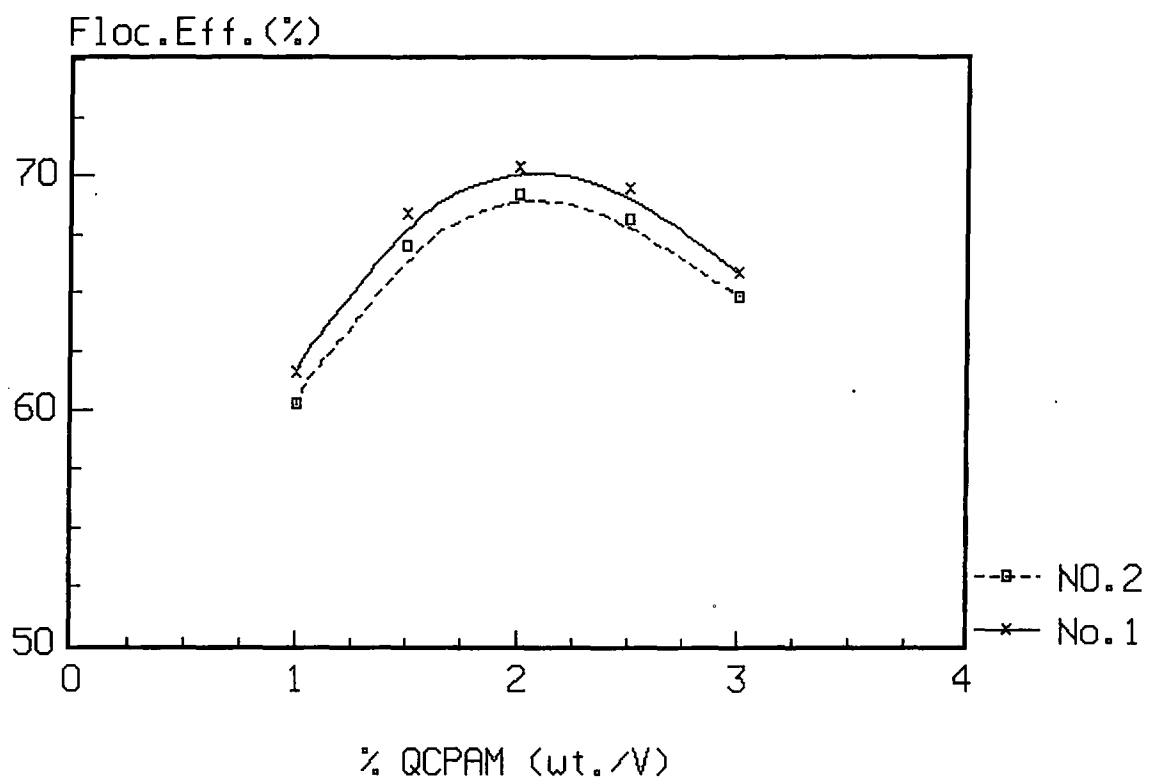
รูป 4.1

แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างสารละลาย QCPAM ต่อปริมาณน้ำทิ้ง



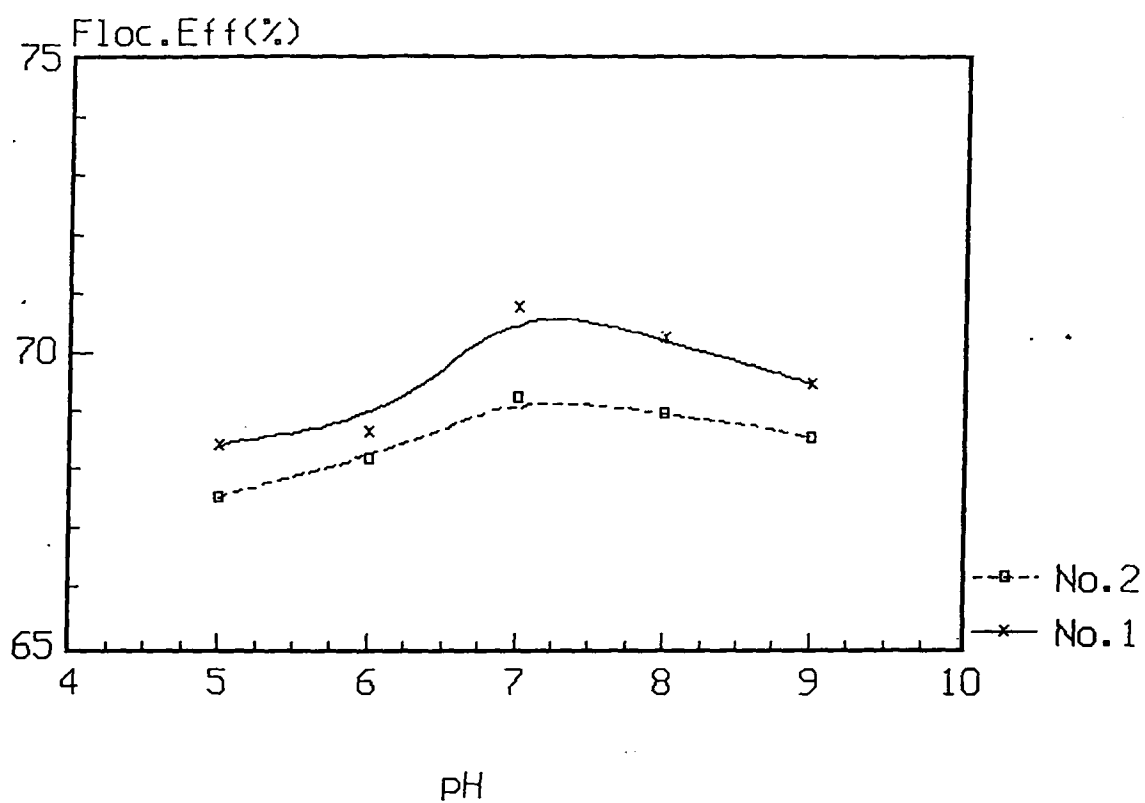
รูป 4.2

แสดง pH ของสารละลายในระบบหลังบำบัดด้วย QCPAM
(— Minimum % Cation, --- Maximum % Cation)



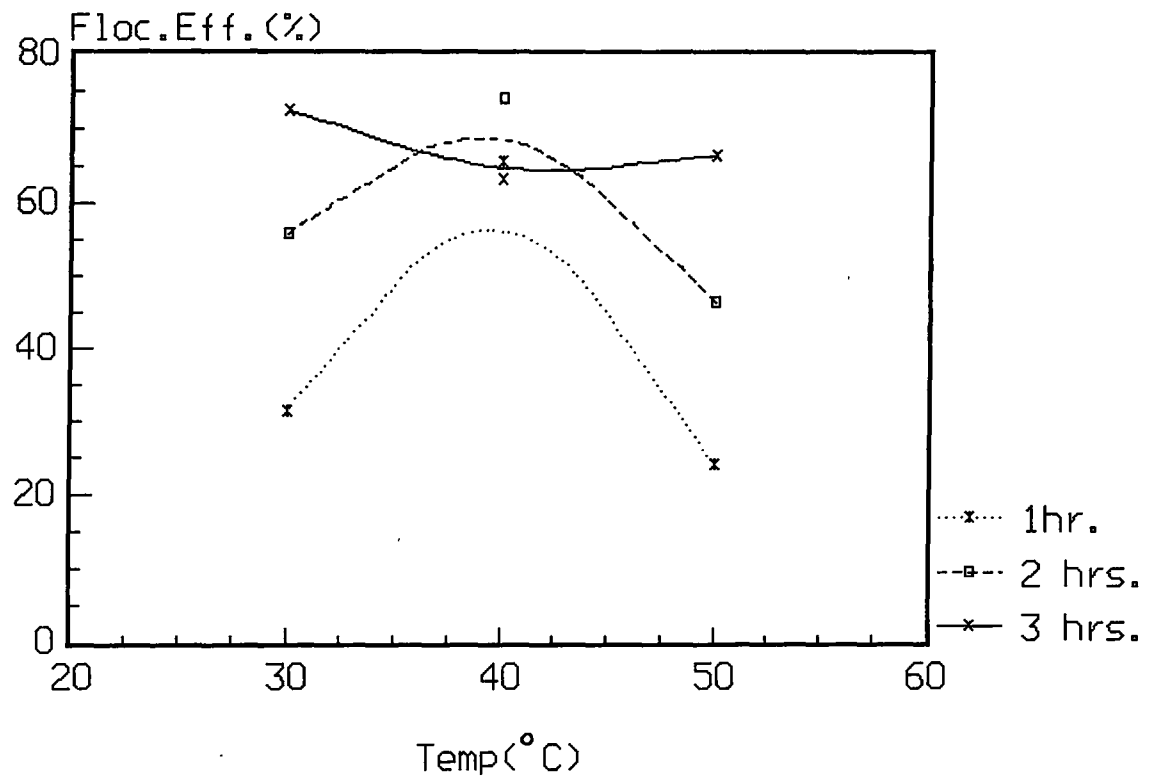
รูป 4.3

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย QCPAM
กับประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน



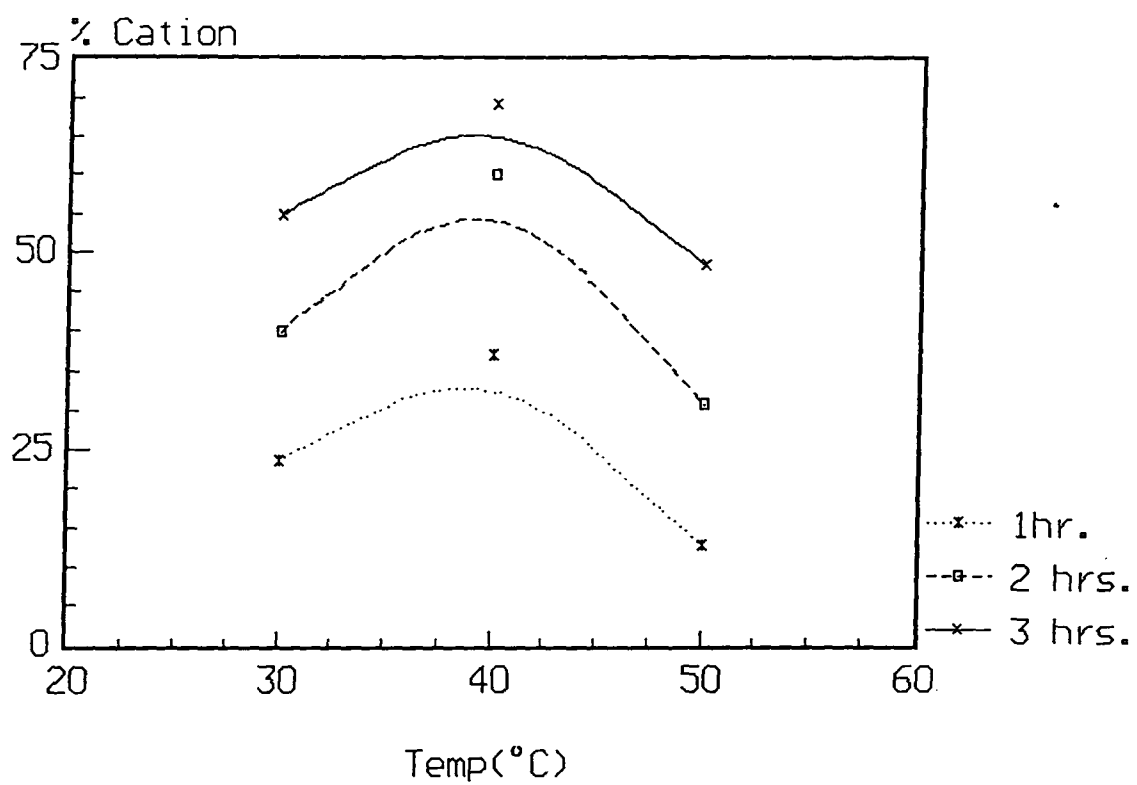
รูป 4.4

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน



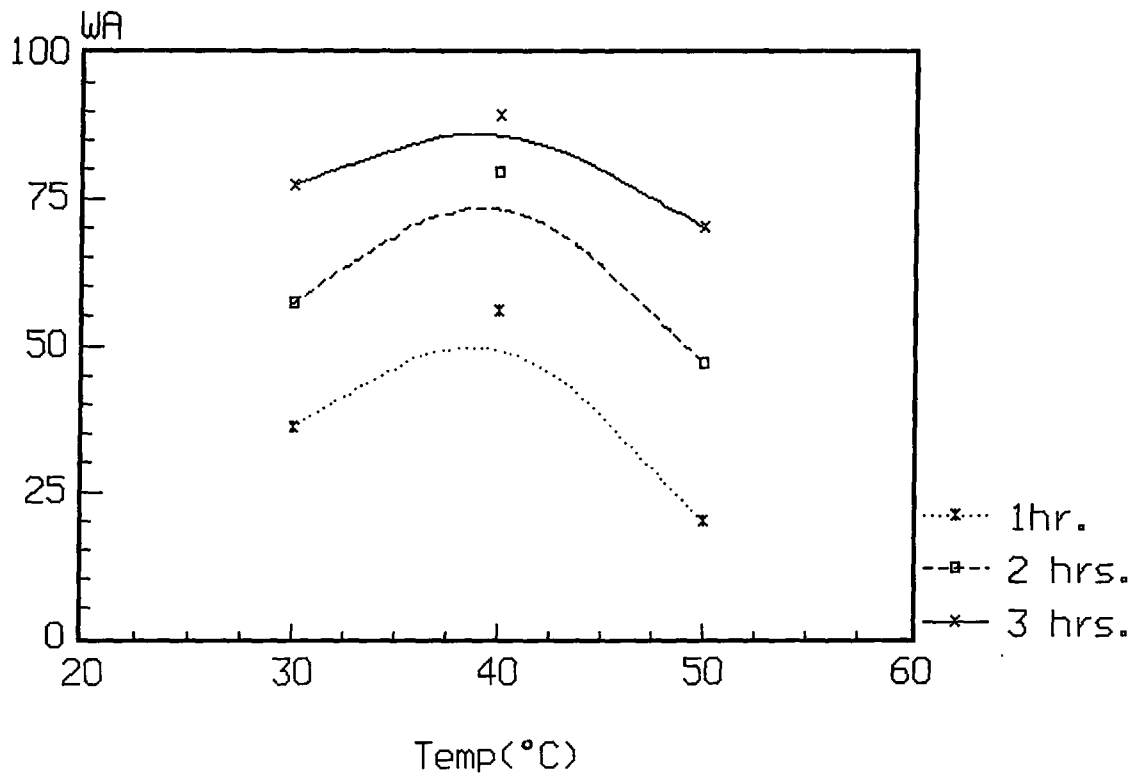
รูป 4.5

กราฟระหว่างอุณหภูมิกับประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนที่เวลาต่างๆ



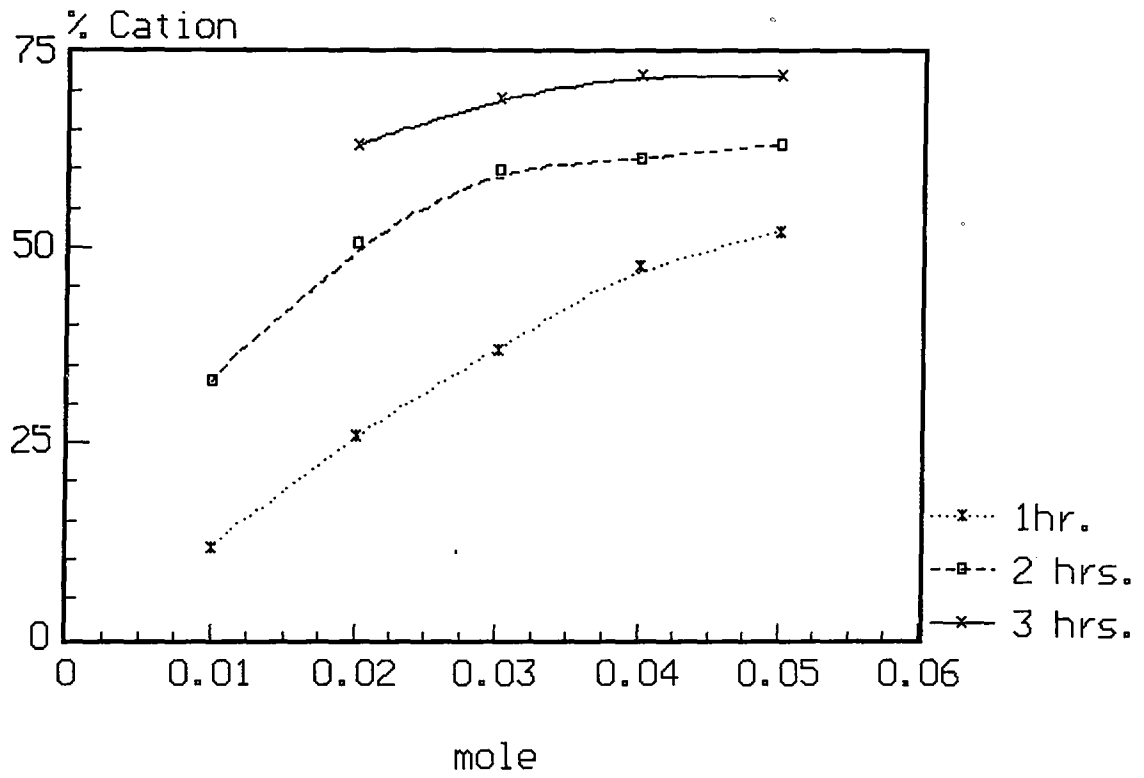
รูป 4.6

กราฟระหว่างอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยากับปริมาณประจุบวก

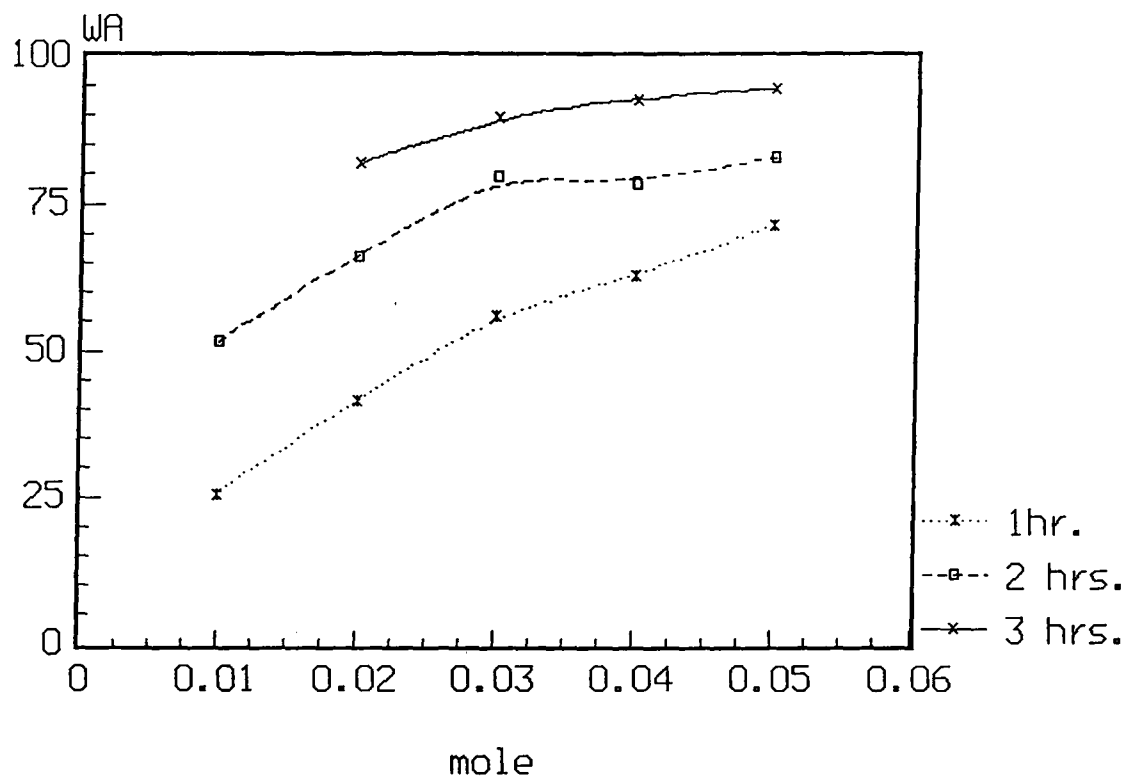


รูป 4.7

กราฟระหว่างอุณหภูมิและค่าการดูดซึมน้ำ

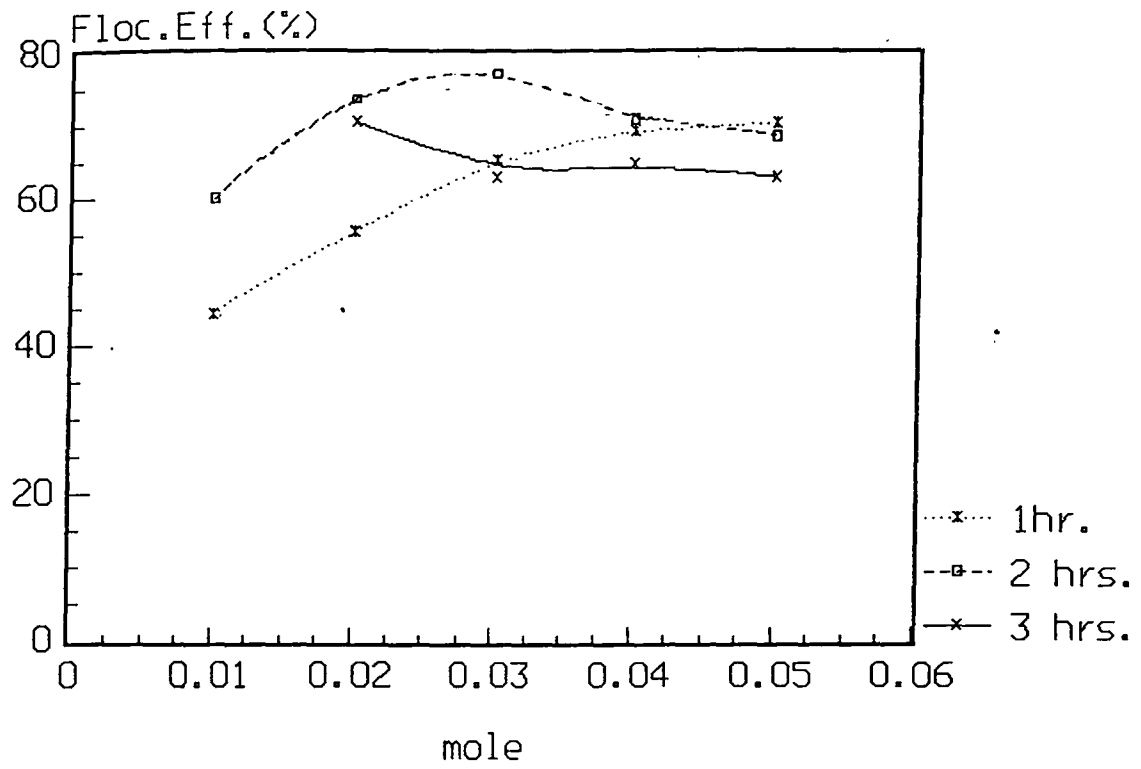


รูป 4.8
กราฟระหว่างสารตั้งต้นและปริมาณประจุบวก



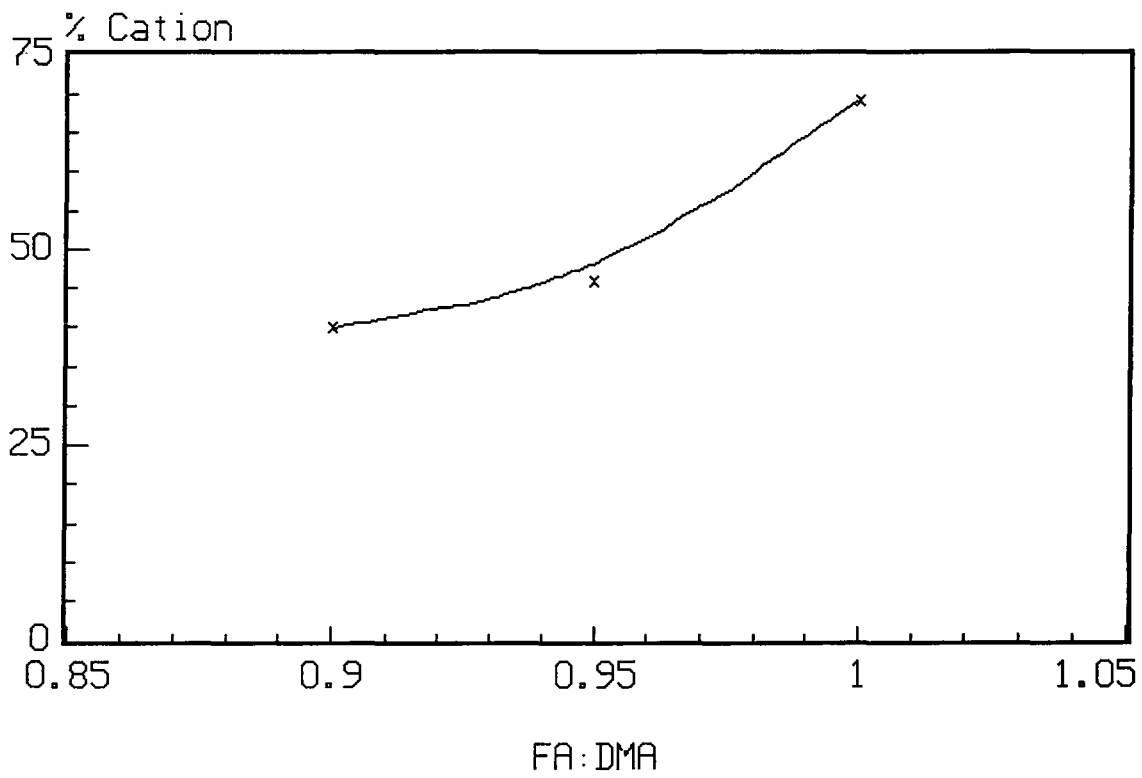
รูป 4.9

กราฟระหว่างปริมาณสารตั้งต้นและค่าการดูดซึมน้ำ



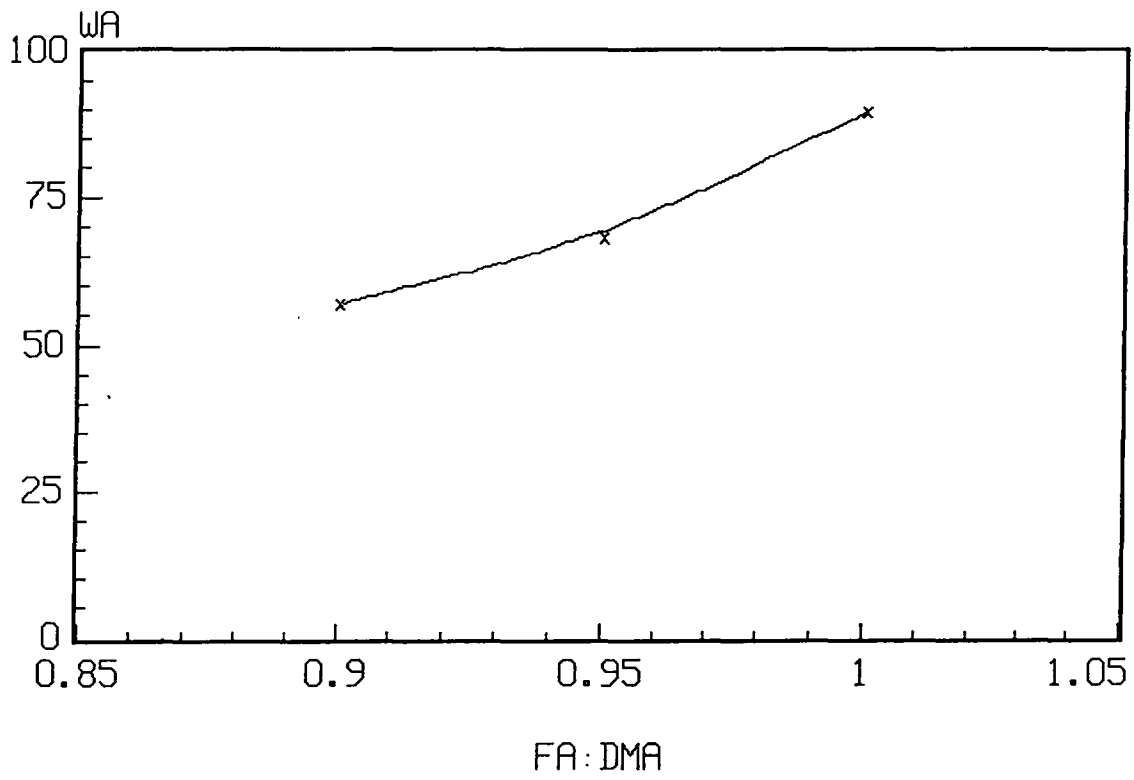
รูป 4.10

กราฟระหว่างปริมาณสารตั้งต้นและประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน



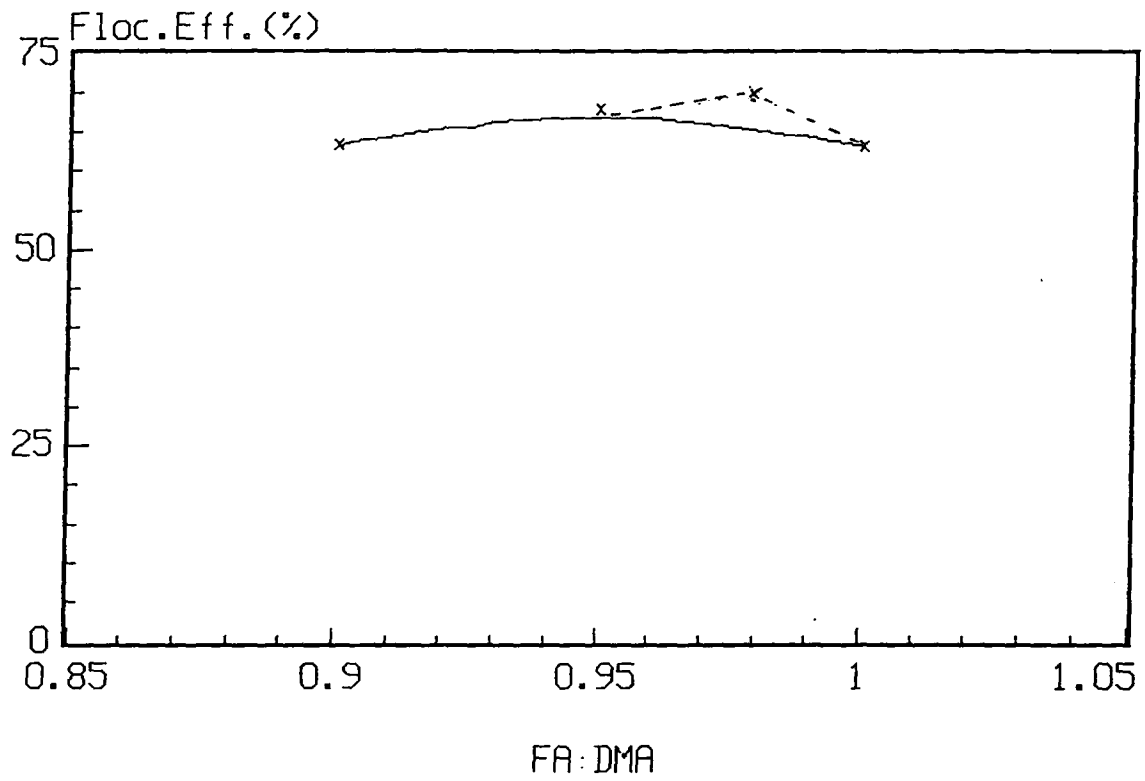
รูป 4.11

กราฟระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของ FA ต่อ DMA และปริมาณไนโตรเจนบวกใน QCPAM



รูป 4.12

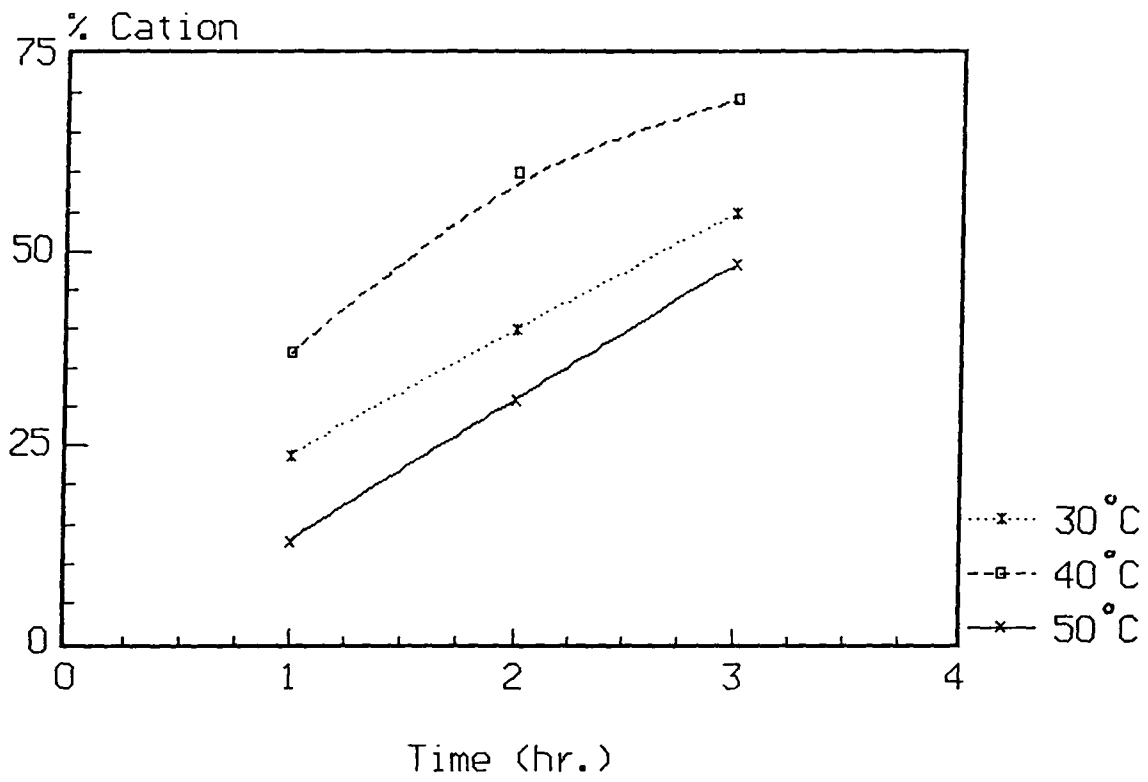
กราฟระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของ FA ต่อ DMA และค่าการดูดซึมน้ำ



รูป 4.13

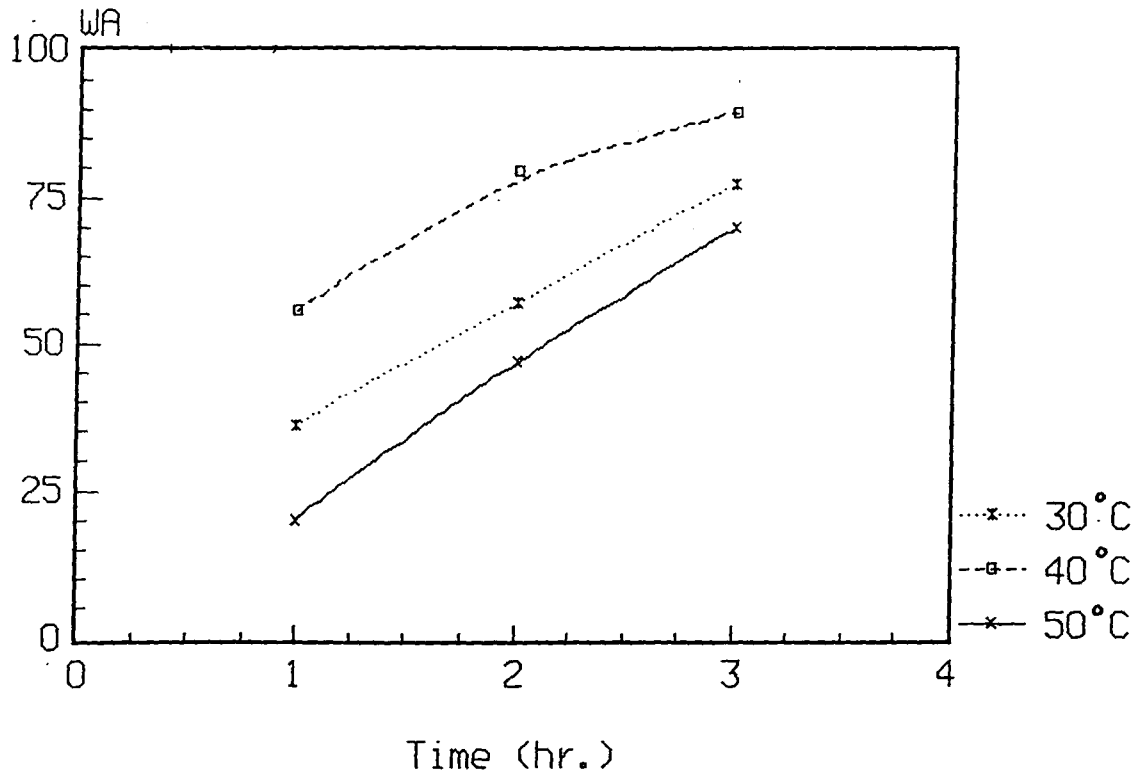
กราฟระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของ FA ต่อ DMA และประสิทธิภาพในการ
ตกตะกอน

(—— การทดลอง, ----- ประมาณการ)



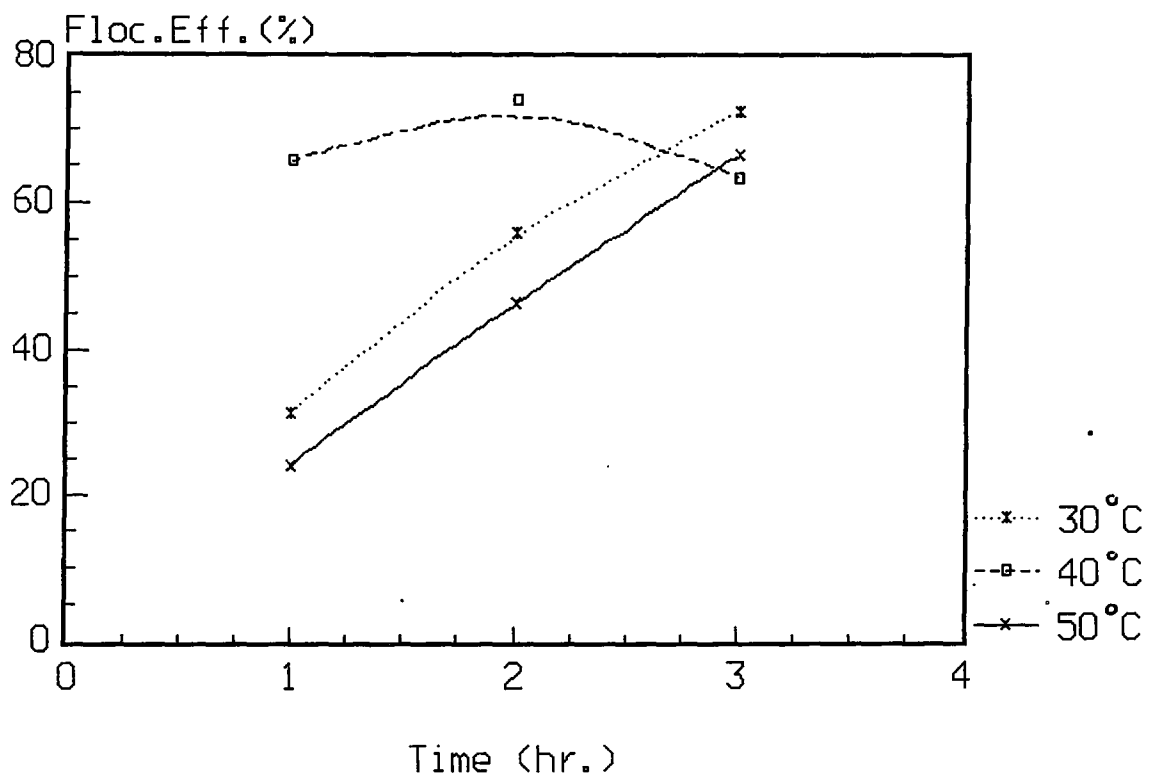
รูป 4.14

กราฟระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาและปริมาณประจุบวก



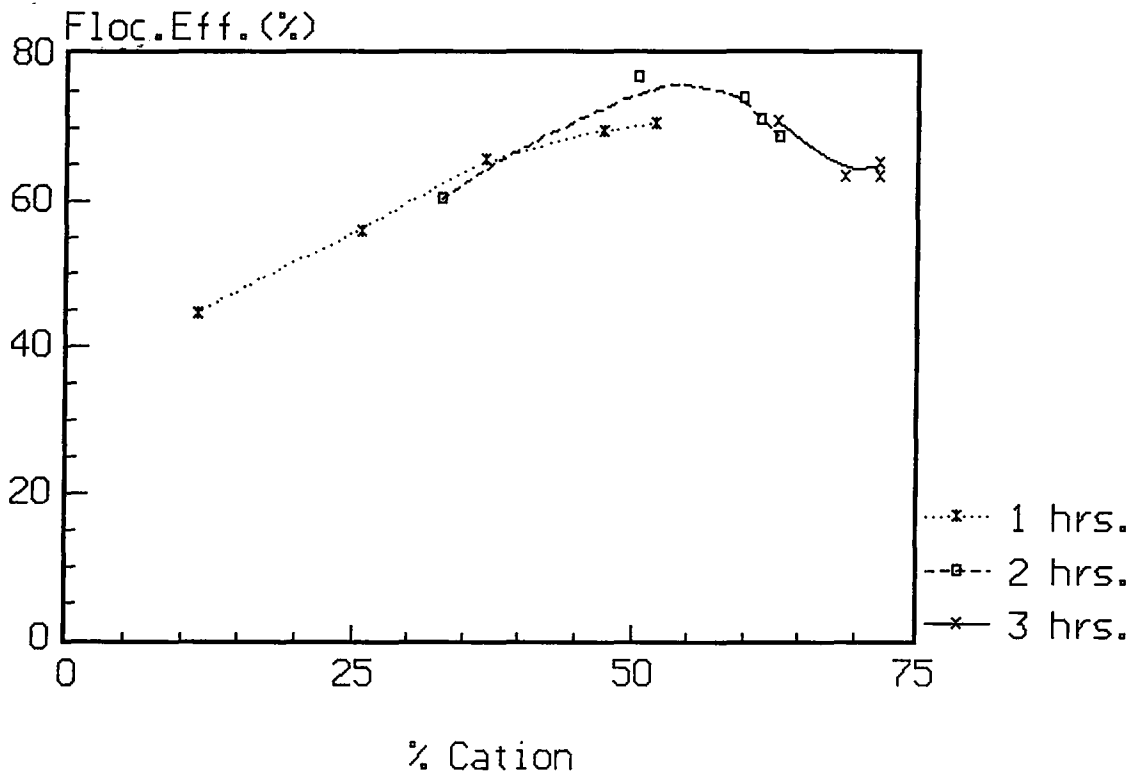
รูป 4.15

กราฟระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาและค่าการดูดซึมน้ำ



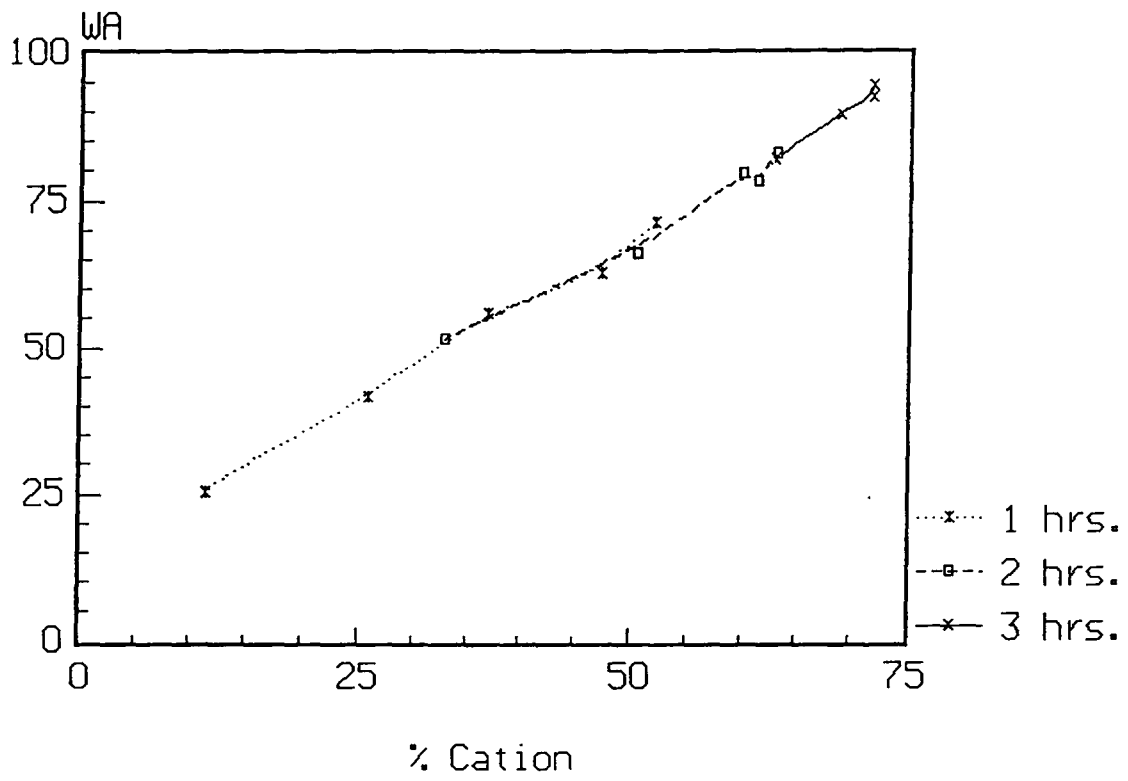
รูป 4.16

กราฟระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาและประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน



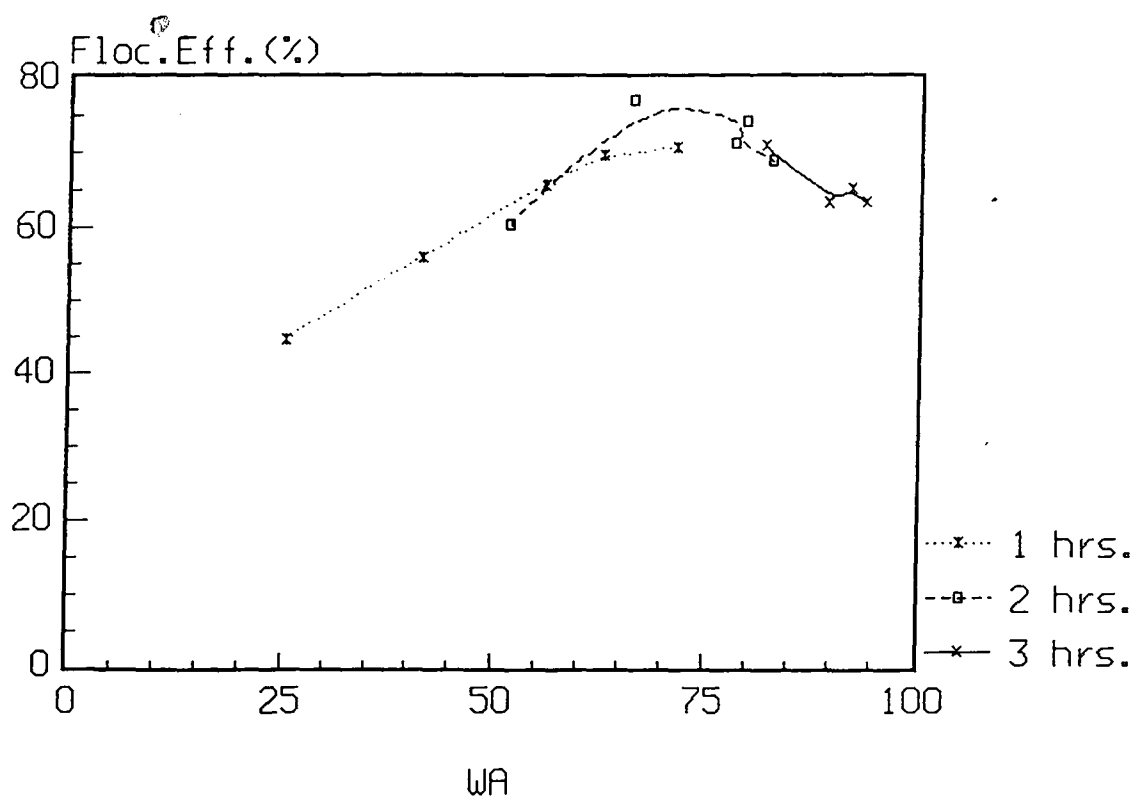
รูป 4.17

กราฟระหว่างปริมาณไนโตรเจนบวกและประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน



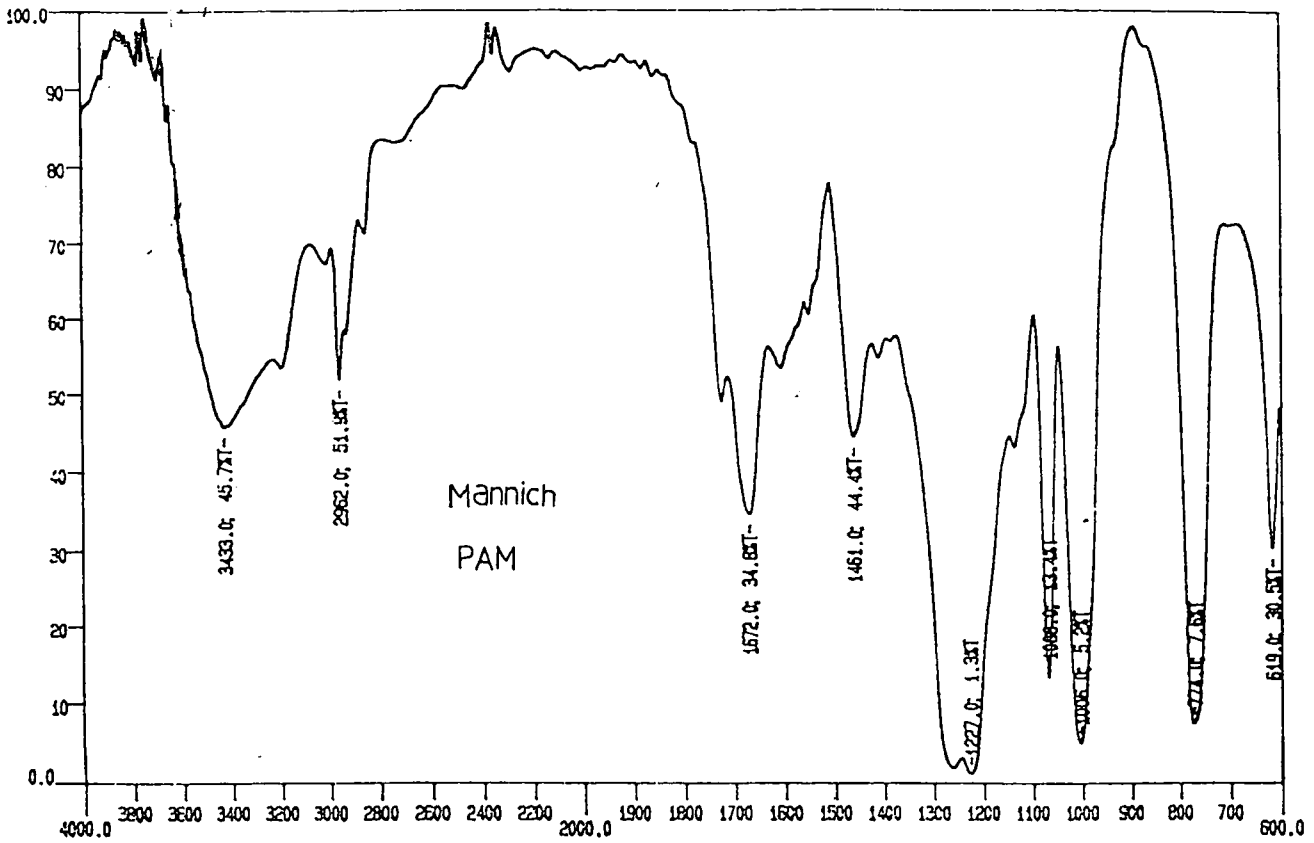
รูป 4.18

กราฟระหว่างปริมาณไนโตรเจนบวกและค่าการดูดซึมน้ำ



รูป 4.19

กราฟระหว่างค่าการคูดซึมน้ำและประสิทธิภาพช่วยเร่งการตะกอน



รูป 4.20

แสดง IR สเปกตรัมของ แมนนิช PAM

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้ได้ศึกษาการเตรียม QCPAM ด้วยปฏิกิริยาแมนนิซและการควอเทอร์ไนซ์ และได้ตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ ได้แก่ ค่าการดูดซึมน้ำและปริมาณประจุบวก ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอน นอกจากนี้ได้ศึกษาปัจจัยในการสังเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ ได้แก่ ความเป็นกรดต่างของน้ำทิ้ง และปริมาณการใช้ QCPAM ที่เหมาะสมในการช่วยเร่งการตกตะกอน สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

QCPAM เตรียมโดยปฏิกิริยาแมนนิซและควอเทอร์ไนซ์ได้ประมาณ 33-60% หรือเฉลี่ยประมาณ 50% โดยปริมาณที่เตรียมได้แตกต่างกันเนื่องจากอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน ส่วนสารตั้งต้นที่ใช้ปริมาณแตกต่างกันคือ ปริมาณไดเมทิลเอมีนและฟอร์มัลดีไฮด์

สภาวะต่างๆที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียม QCPAM ให้มีประสิทธิภาพช่วยเร่งการตกตะกอนได้สูงสุดประมาณ 73.70% มีดังนี้ อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาแมนนิซที่ 40°C และ 2 ชม. ตามลำดับ ปริมาณไดเมทิลเอมีนและฟอร์มัลดีไฮด์ในอัตราส่วนโดยโมล 1:1 ต่างเท่ากับ 0.03 โมล QCPAM มีปริมาณไนโตรเจนบวกประมาณ 60%

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการช่วยเร่งการตกตะกอน พบว่าอัตราส่วนระหว่างสารละลาย QCPAM ต่อปริมาณน้ำทิ้งเหมาะสมที่อัตราส่วนโดยปริมาตรเท่ากับ 1:5 โดยความเข้มข้นสารละลายน้ำ QCPAM ที่เหมาะสมประมาณ 2% นน./ปริมาตร และน้ำทิ้งควรได้รับการปรับสภาพให้เป็นกลาง (pH = 7)

จากการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของ QCPAM โดยเทคนิค FTIR เลขคลื่นที่บ่งบอกหมู่ทำหน้าทีเฉพาะของโมเลกุล QCPAM ได้แก่ N-H stretching ที่ 3433 cm^{-1} C=O stretching ที่ 1672 cm^{-1} sulfate salts ที่ 1006 และ 1227 cm^{-1} organic sulfates ที่ 619 cm^{-1}

ข้อเสนอแนะ

1. การทำพอลิเมอร์ให้บริสุทธิ์

ตามโครงการพิเศษนี้ได้ทำการแยก QCPAM ที่เตรียมได้โดยนำมาตกตะกอนในอะซิโตน โดยใช้ อะซิโตนในปริมาณที่มากกว่าพอลิเมอร์ประมาณ 1.5-2.0 เท่า เพื่อกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์และโดเมทิลเอมีนให้ตกค้างในพอลิเมอร์น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เท่ากับเป็นการป้องกันการเกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่พอลิเมอร์ อะซิโตนที่ใช้แล้วสามารถนำไปกลั่นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อาจใช้ตัวทำละลายอื่นๆที่ไม่ละลายพอลิเมอร์ หรือใช้มีกซ์เบดไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน (mixed bed ion-exchange resin) ในการทำพอลิเมอร์ให้บริสุทธิ์ โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง เรซินไบโอ-เรด เอจีโอ 1-เอ็กซ์ 8 และ เอจี 50 ดับเบิลยู-เอ็กซ์ 8 (Bio-rad AG1-X8 and AG50W-X8 resin) เท่ากับ 50:50 (5 กรัม ของเรซิน ผสมสามารถใช้กับพอลิเมอร์ 5 มก. ที่ละลายอยู่ในน้ำ 20 ก.) ใช้เวลา 1 ชม. ในการตกตะกอน จากนั้นจึงทำการเหวี่ยงและกรองเอาสารละลายออก

2. การทำให้พอลิเมอร์แห้ง

การทำให้พอลิเมอร์แห้งตามโครงการพิเศษนี้ได้อบที่อุณหภูมิ 40-60°C นานประมาณ 6 ชม. การใช้ เวลาในการอบนานมากเกินไปอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของสายโซ่พอลิเมอร์ เนื่องจาก อาจมีฟอร์มัลดีไฮด์และโดเมทิลเอมีนตกค้างอยู่ในพอลิเมอร์ หรือใช้เครื่องทำให้แห้งด้วยความเย็น (freeze dryer) หลีกเลี่ยงการใช้ใช้อุณหภูมิสูง และยังสามารถแยกเอาฟอร์มัลดีไฮด์ และโดเมทิลเอมีนออกจากพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์ไม่มีกลิ่นเหม็น

3. การพัฒนาและการนำไปใช้

ควอเทอนารีแคตไอออนิกพอลิอะคริลาไมด์อาจสามารถนำไปใช้ร่วมกับแอนไอออนิกพอลิเมอร์ โดยการนำพอลิเมอร์สองชนิดนี้มาผสมกัน คาดว่าพอลิเมอร์ผสมนี้อาจสามารถจับได้ทั้งอนุภาค กระจุกและประจุลบ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ที่จะทำการสังเคราะห์ให้พอลิเมอร์มีทั้งประจุบวกและลบ อยู่ในโมเลกุลเดียวกันแทนการผสมพอลิเมอร์สอง ชนิด

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โดยทั่วไปแล้วคำว่า Flocculation หมายถึง การที่ของของแข็งแขวนลอยรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (Aggregate formation) ซึ่งมีความหมายใกล้เคียงกับ Coagulation และใช้แทนกันได้ แต่ก็มีข้อแตกต่างกันเล็กน้อย[4] ดังนี้

1. พิจารณากลไกของการเสถียรภาพ (Destabilized) ของสารแขวนลอย และ/หรือ รูปแบบของกลุ่มก้อนที่รวมตัวกัน

Coagulation คือ การรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนอย่างหนาแน่น

Flocculation คือ การรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนอย่างหลวมๆ

2. พิจารณาสารเคมีที่ใช้

Coagulation คือ สารอนินทรีย์

Flocculation คือ สารพอลิเมอร์อินทรีย์

3. พิจารณาขั้นตอนของกระบวนการทางวิศวกรรม (Engineering process steps)

Coagulation คือ การรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนเกิดจากสารเคมีที่เติมลงไป

Flocculation คือ การรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนเกิดจากการชนกันระหว่างอนุภาค (Mechanical particle transport step)

4. พิจารณาการใช้งานทางวิศวกรรม (Engineering usage)

Coagulation จะพิจารณากระบวนการรวมตัวทั้งหมด (Overall aggregate process)

Flocculation จะพิจารณาขั้นตอนการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Particle transport step)

ภาคผนวก ข

ในการนำ Flocculant ไปใช้งานนั้น ต้องมีการทดสอบเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการนำไปใช้งานในห้องปฏิบัติการ[2] การทดลองในห้องปฏิบัติการ ต้องมีสภาวะใกล้เคียงกับสภาวะใช้งานจริง เช่น ความเร็วรอบของการกวน เป็นต้น ในสภาพของน้ำทิ้งที่ต่างกัน จะมีวิธีในการทดสอบต่างกัน ดังนี้

1. ระบบแขวนลอยที่มีความเข้มข้นของของแข็งต่ำ (< 2% by wt.) ใช้การทดสอบแบบจาร์ โดยทำการปั่นกวนตัวอย่างน้ำทิ้งจนอนุภาคของแข็งเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ นำ Flocculant (ส่วนมากอยู่ในรูปสารละลายเจือจาง) เติมลงไปในตัวอย่างไม่ทิ้ง ทำการปั่นกวนอย่างรวดเร็วในขณะเดิม เพื่อให้ Flocculant เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ลดความเร็วของการปั่นกวนลง เพื่อช่วยให้ Floc ที่เกิดขึ้นเกิดการรวมตัวได้ดีขึ้น (ถ้ากวนแรง Floc จะแตกกระจาย)

ตั้งทิ้งไว้เฉยๆ ให้เกิดการตกตะกอน จากนั้นก็นำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์

2.ระบบแขวนลอยที่มีความเข้มข้นของของแข็งอยู่ในช่วงกลางถึงสูง (>40% by wt.)

2.1 Thickening test ทำได้โดย

ทำการปั่นกวนตัวอย่างน้ำทิ้งจนอนุภาคของแข็งเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ นำ Flocculant (ส่วนมากอยู่ในรูปสารละลายเจือจาง) เติมลงไปในตัวอย่างไม่ทิ้ง ทำการปั่นกวนอย่างรวดเร็วในขณะเดิม เพื่อให้ Flocculant เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ หยุดการปั่นกวน จับเวลาที่ของแข็งตกตะกอนลงมาที่ระดับความสูงหรือปริมาตรต่างๆ

2.2การทดสอบโดยการกรองแบบสุญญากาศทำได้โดยผสม Flocculant กับตัวอย่างน้ำทิ้งในบีกเกอร์ จากนั้นนำไปกรองแบบสุญญากาศ (Bushman funnel) วัดอัตราการกรองและความใสของสารละลายที่กรองได้

ภาคผนวก ค

หลักการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อการวิเคราะห์

1. อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างน้ำ

1.1 ขวดเก็บตัวอย่างน้ำมักเป็นชนิดขวดแก้วหรือพอลิเอทิลีน (Polyethylene) ขนาดใหญ่พอที่จะบรรจุน้ำไปทำการวิเคราะห์ มีฝาเกลียวปิดมิดชิด ก่อนใช้ควรล้างให้สะอาดด้วยกรดโครมิก (Chromic acid) และล้างด้วยน้ำสะอาดอีก 2-3 ครั้ง แล้วจึงล้างด้วยน้ำกลั่น ในกรณีที่ใช้ขวดแก้วเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อมาวิเคราะห์ทางด้านจุลินทรีย์ต้องอบนึ่ง (Sterilize) เพื่อฆ่าเชื้อโรคก่อน การใช้ภาชนะอื่นๆนอกจากที่กล่าวแล้วควรหลีกเลี่ยง เพราะอาจเกิดปฏิกิริยาเคมีกับกรดหรือด่างที่มีในน้ำตัวอย่างที่เก็บ ซึ่งทำให้ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างนั้นเปลี่ยนแปลงได้

ขวดเก็บตัวอย่างน้ำที่เป็นพอลิเอทิลีน เมื่อออกจากโรงงานผลิตใหม่ๆอาจจะมีปรอท(II)ซัลเฟต (Mercury (II) sulphate) ติดหลงเหลืออยู่ ควรจะล้างขวดชนิดนี้ให้สะอาดหลายๆครั้งก่อนนำมาใช้ หรือถ้าไม่แน่ใจว่าจะมีโลหะหนักเหลืออยู่หรือไม่ ให้หลีกเลี่ยงไปใช้ขวดแก้วที่มีคุณภาพดีพอต่อการไม่เกิดปฏิกิริยากับตัวอย่างน้ำที่จะเก็บ

1.2 อุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ประกอบในการเก็บน้ำตัวอย่าง ได้แก่ ภาชนะสำหรับตักตัวอย่างน้ำ กระบอกตวง เทอร์โมมิเตอร์ ดินสอ ฯลฯ

2. จุดเก็บน้ำตัวอย่าง

2.1 ถ้าเป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ให้เก็บตัวอย่างน้ำจากทุกๆจุดที่มีการปล่อยน้ำเสียออกมา และ/หรือ จุดที่รวมของน้ำเสียก่อนระบายออกนอกโรงงาน

2.2 ในการตรวจสอบและควบคุมระบบบำบัด ให้เก็บตัวอย่างน้ำจากจุดที่ระบายออกจากระบบฯ ก่อนปล่อยทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลองหรือท่อระบายของเทศบาล

2.3 ถ้าเป็นน้ำเสียชุมชน (Domestic waste) ให้เก็บจากปลายท่อระบายน้ำโสโครกหรือบ่อตรวจการระบาย (Manhole) หรือจากบ่อสูบ

2.4 ในการตรวจสอบประสิทธิภาพและการควบคุมการทำงานของระบบบำบัด ให้เก็บจากจุดต่างๆ ตามขั้นตอนของระบบบำบัด บริเวณที่จะเก็บตัวอย่างน้ำที่ดังกล่าวจะต้องเป็นบริเวณที่ไม่มีการตกตะกอน

2.5 ในการตรวจตามคุณภาพของลำน้ำ ให้เก็บตัวอย่างดังนี้

ถ้าลำน้ำผสมกันไม่ดี ให้เก็บที่ 3 ตำแหน่ง ห่างจากกัน และห่างจากตลิ่งเท่ากับ $W/4$ ถ้า W คือ ความกว้างของลำน้ำ ณ จุดนั้นๆ และเก็บที่ความลึก $0.2D$ และ $0.8D$ ถ้า D คือ ความลึก ณ จุดนั้นๆ รวมทั้งสิ้นเป็น 6 ตัวอย่าง

ถ้าลำน้ำผสมกันได้ดีในแนวยาว (Longitudinal mixing) ให้เก็บที่ 3 ตำแหน่งเดิม แต่เก็บที่ $0.6D$ ณ แต่ละตำแหน่ง จะได้รวมเป็น 3 ตัวอย่าง

ถ้าลำน้ำผสมกันดีในแนวขวาง ก็ให้เก็บที่ $0.2D$ และ $0.6D$ ที่ตำแหน่งกลางลำน้ำจะได้ตัวอย่างทั้งสิ้น 2 ตัวอย่าง

หากลำน้ำมีการผสมกันทั่วถึงดีทั้ง 2 ทิศทาง ให้เก็บตัวอย่างที่ $0.6D$ ณ ตำแหน่งกลางแม่น้ำเพียงจุดเดียว

3. วิธีเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำให้ได้ตัวแทนที่มีลักษณะสมบัติใกล้เคียงกับน้ำเสียทั้งหมดนั้น จำเป็นต้องเลือกวิธีเก็บที่เหมาะสม ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

3.1 การเก็บแบบจ้วง (Grab sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงเอาเฉยๆ แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าที่ต้องการทราบ ดังนั้นตัวอย่างน้ำจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะสมบัติของน้ำ ณ จุดเก็บเฉพาะเวลานั้นเท่านั้น การเก็บตัวอย่างน้ำแบบนี้มีข้อดีในกรณีที่

น้ำเสียไม่ได้ไหลแบบต่อเนื่อง เช่น ปล่อยทิ้งเป็นครั้งคราวเนื่องจากกระบวนการผลิตเดินเครื่องเป็นช่วงๆ

น้ำเสียมีลักษณะสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

- ต้องการศึกษการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของน้ำเสียตามกรรมวิธีการผลิตในกรณีนี้ต้องจ้วงเก็บตัวอย่างหลายตัวอย่างมาเทียบกับเวลา
- ต้องการหาลักษณะสมบัติบางอย่างของน้ำเสีย เช่น pH อุณหภูมิ ออกซิเจนละลาย (Dissolved oxygen) ตะกอนหนัก (Settleable solids) คลอรีนหลงเหลือ (Residual chlorine)

3.2 การเก็บแบบผสมรวม (Composite sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างหลายๆครั้งต่อช่วงการผลิต โดยแบ่งแต่ละช่วงระยะเวลาของการเก็บให้สม่ำเสมอ ปริมาณการเก็บขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำ แล้วนำมาผสมลงในถังเก็บใบเดียวกันซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้ประมาณ 10°C การเก็บวิธีนี้มีข้อดีตรงที่ลดจำนวนตัวอย่างน้ำที่ต้องวิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายเคมีภัณฑ์และเวลาในการศึกษาได้มาก แต่ถึงอย่างไรก็มีข้อเสียคือ ต้องใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างนานกว่าวิธีแรก

ข้อบกพร่องในการเก็บตัวอย่างน้ำแบบผสมรวมอาจจะเกิดขึ้นได้ เป็นต้นว่า

การเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละครั้งที่จุดเดียวกัน ใช้วิธีไม่เหมือนกัน

การถ่ายตัวอย่างน้ำจากจุดที่เก็บลงในถัง อาจทำให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ผิดพลาดในการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อให้ได้ข้อมูลจากกระบวนการผลิตอย่างสมบูรณ์ ต้องเก็บทั้งแบบจ้วงและแบบผสมรวม การเก็บไม่เพียงแต่จะเก็บจากท่อน้ำทิ้งรวมเท่านั้น แต่ควรเก็บจากแต่ละจุดในกระบวนการผลิตที่มีน้ำเสียออกมาด้วย

3.3 ช่วงความถี่ของการเก็บตัวอย่างน้ำและจำนวนครั้งของการเก็บขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและลักษณะสมบัติของน้ำเสียนั้นๆ สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงอาจจะเก็บชั่วโมงละครั้ง ถ้า น้ำนั้นมีลักษณะสมบัติที่แปรปรวนมาก หรืออาจเก็บทุก 2 4 8 16 หรือ 24 ชั่วโมงต่อครั้ง ในกรณีที่ลักษณะสมบัติของน้ำเสียนั้นไม่ค่อยแปรผัน แต่ถ้าเป็นการเก็บตัวอย่างน้ำแบบผสมรวมเวลาที่กำหนดจะขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของน้ำเสียและไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง ถ้าลักษณะสมบัติของน้ำค่อนข้างคงที่ควรใช้เวลาในการเก็บทั้งหมดอยู่ระหว่าง 8-12 ชั่วโมง ก็พอเพียง

ตาราง ค.1 ช่วงความถี่ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์หาค่าต่างๆ

ค่าที่ต้องการวิเคราะห์	แหล่งน้ำที่มีความแปรปรวนมาก	แหล่งน้ำที่มีความแปรปรวนน้อย
BOD	4 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
COD	2 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
SS	8 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
สภาพต่าง สภาพกรด	1 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
pH	เก็บต่อเนื่องกันไป (Continuous)	
ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส	24 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
โลหะหนัก	4 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง

4. การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ (Preservation)

โดยทั่วไปผลการวิเคราะห์จะเชื่อถือได้ที่สุดและเป็นตัวแทนคุณภาพน้ำที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุดก็ต่อเมื่อต้องทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทันทีภายหลังการเก็บตัวอย่างแล้ว ทั้งนี้เพราะเมื่อทิ้งตัวอย่างไว้นาน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทั้งทางด้านเคมีและชีววิทยาได้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับ ลักษณะของตัวอย่างน้ำแต่ละประเภท ข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ และการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

หลักการโดยทั่วไปที่ต้องทำการเก็บรักษาน้ำ ก็เพื่อป้องกัน และ ลดอัตราการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของตัวอย่างในช่วงเวลาหลังการเก็บและก่อนตรวจวิเคราะห์ เช่น ชลอปฏิกิริยาทางชีวภาพ ชลอการระเหยตัวขององค์ประกอบในน้ำ

ตาราง ก.2 เก็บรักษาน้ำตัวอย่าง

พารามิเตอร์	การเก็บรักษา	ช่วงระยะเวลาขอมให้เก็บ
สภาพกรด-ด่าง	แช่เย็น 4°C	24 ชม.
B.D.O.	แช่เย็น 4°C	6 ชม.
แคลเซียม	ไม่จำเป็น	7 วัน
C.O.D.	2 ลบ.ชม. H ₂ SO ₄ /ลบ.ดม.	7 วัน
คลอไรด์	ไม่จำเป็น	7 วัน
สี	แช่เย็น 4°C	24 ชม.
ไซยาไนด์	NaOH ถึง pH 10	24 ชม.
D.O.	วัดในที่	ห้ามเก็บ
ฟลูออไรด์	ไม่จำเป็น	7 วัน
ความกระด้าง	ไม่จำเป็น	7 วัน
โลหะ	5 ลบ.ชม. HNO ₃ /ลบ.ดม.	6 เดือน
โลหะละลาย	กรอง:3ลบ.ชม.1:1HNO ₃ /ลบ.ดม.	6 เดือน
แอมโมเนีย	40 มก. HgCl ₂ */ลบ.ดม. 4°C	7 วัน
เจลดาคาร์โบไฮเดรต	40 มก. HgCl ₂ */ลบ.ดม. 4°C	ไม่คงรูป
ไนเตรต-ไนไตรต์	40 มก. HgCl ₂ */ลบ.ดม. 4°C	7 วัน
น้ำมันและไขมัน	2 ลบ.ชม. H ₂ SO ₄ /ลบ.ดม. (pH 2)	24 ชม.
T.O.C.	วัดในที่	7 วัน
pH	1.0 ก. CuSO ₄ / ลบ.ดม. + H ₃ PO ₄	ห้ามเก็บ
ฟีนอล	ให้ได้ pH 4.0 - - - 4°C	24 ชม.
ฟอสฟอรัส	40 มก. HgCl ₂ */ลบ.ดม. 4°C	7 วัน

*ตัวอย่างเหล่านี้จะมีสารปรอทอยู่ด้วย การถ่ายทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมก็ถือว่าเป็นการทำลายสภาวะแวดล้อมด้วย ขณะนี้กำลังมีงานวิจัยที่จะหาสารอื่นมาใช้แทนการใช้สารปรอท

ภาคผนวก ง

คุณสมบัติของสารเคมีบางตัวที่ใช้ในโรงงานพิเศษ

1. ฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde)

เป็นสารในสถานะก๊าซ มีจุดเดือด -19°C สามารถละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์ โดยทั่วไป มักใช้ในรูปสารละลายเข้มข้น 37-40% ในสถานะสารละลายมีจุดเดือด 96°C จุดวาบไฟ 50°C ความหนาแน่น 1.089 ก./ลูกบาศก์เซนติเมตร

2. ไดเมทิลามีน (dimethylamine)

สูตรโมเลกุล $[(\text{CH}_3)_2\text{NH}]$ น้ำหนักโมเลกุล 45.08 ก./โมล เป็นสารในสถานะก๊าซ มีกลิ่นฉุนเหมือนกลิ่นคาวปลา สามารถละลายได้ในน้ำ ในสถานะสารละลาย 40% ในน้ำ มีความเข้มข้นประมาณ 7-9 โมลาร์ ความหนาแน่น 0.89 ก./ลบ.ซม.

3. ไดเมทิลซัลเฟต (dimethylsulphate)

สูตรโมเลกุล $[(\text{CH}_3)_2\text{SO}_4]$ น้ำหนักโมเลกุล 126.13 ก./โมล สถานะสารละลายมีความบริสุทธิ์ 97% ความหนาแน่น 1.325 ก./ลบ.ซม. ค่าดัชนีหักเห 1.387 จุดวาบไฟ 83°C

ภาคผนวก จ

ตาราง จ.1 ตารางแสดงผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาแมนนิช

การทดลอง	%N+	WA	FE(%) ที่อัตราส่วน QCPAM:ปริมาณน้ำทิ้ง		
			1:2	1:5	1:7
1	52.00	71.35	50.87	70.38	67.46
2	47.37	62.79	59.19	69.23	58.20
3	36.91	55.69	66.60	65.38	51.90
4	25.81	41.57	72.02	55.54	41.15
5	11.47	25.31	58.71	44.27	30.27
6	63.11	82.72	38.20	68.45	81.84
7	61.41	78.25	40.01	70.89	79.46
8	59.94	79.59	45.99	76.66	73.05
9	50.41	66.02	50.21	73.70	62.31
10	32.94	51.62	70.02	60.24	48.88
11	72.01	94.11	31.80	63.11	88.71
12	71.99	92.20	32.32	64.93	89.52
13	68.98	89.42	40.31	62.92	88.47
14	62.94	81.76	40.16	70.78	82.54
15	12.62	20.02	---	23.81	---
16	30.70	46.85	---	46.11	---
17	48.17	70.00	---	66.21	---
18	23.45	36.01	---	31.24	---
19	39.94	56.99	---	55.65	---
20	54.55	77.07	---	72.22	---
21	45.78	68.02	---	67.67	---
22	39.94	56.68	---	63.16	---

ภาคผนวก ฉ

โปรแกรมหาอนุพันธ์อันดับ 1 (ภาษา QBASIC)

```

SCREEN 9
ON ERROR GOTO errh
start:
CLS
INPUT "Enter file name :", n$
CLS
LOCATE 3, 29: PRINT "Potentiometric Titration"
LOCATE 4, 29: PRINT "      (1st Derivative)"
LOCATE 6, 10: PRINT "File : "; n$
LINE (150, 110)-(150, 250), 3
LINE (150, 250)-(510, 250), 3
FOR i = 0 TO .6 STEP .1
    LINE (i * 600 + 150, 247)-STEP(0, 4), 3
NEXT
FOR i = 0 TO 600 STEP 200
    LINE (148, i * -.2 + 250)-STEP(4, 0), 3
NEXT
LOCATE 16, 16: PRINT "200"
LOCATE 13, 16: PRINT "400"
LOCATE 10, 16: PRINT "600"
LOCATE 19, 18: PRINT "0           0.2           0.4           0.6 V(ml.)";
LOCATE 14, 7: PRINT CHR$(127) + "pH/" + CHR$(127) + "V"

OPEN n$ + ".001" FOR INPUT AS #1
maxx = 0
maxy = 0
DO
    LINE INPUT #1, in$
    in$ = LTRIM$(in$)
    IF LEFT$(in$, 1) = "0" THEN
        EXIT DO
    END IF
LOOP
x1 = VAL(LEFT$(in$, INSTR(1, in$, " ")))
in$ = LTRIM$(RIGHT$(in$, LEN(in$) - INSTR(1, in$, " ")))
y1 = VAL(LEFT$(in$, INSTR(1, in$, " ")))
DO
    LINE INPUT #1, in$
    IF EOF(1) THEN
        EXIT DO
    END IF
    in$ = LTRIM$(in$)
    x2 = VAL(LEFT$(in$, INSTR(1, in$, " ")))
    in$ = LTRIM$(RIGHT$(in$, LEN(in$) - INSTR(1, in$, " ")))
    y2 = VAL(LEFT$(in$, INSTR(1, in$, " ")))
    IF x2 = 50000 OR y2 = 50000 THEN
        EXIT DO
    END IF
    y3 = (y2 - y1) / (x2 - x1)
    x3 = (x2 + x1) / 2
    IF maxx = 0 AND maxy = 0 THEN
        PSET (x3 * 600 + 150, y3 * -.2 + 250), 5
        maxx = x3
        maxy = y3
    END IF
    LINE -(x3 * 600 + 150, y3 * -.2 + 250), 5
    IF y3 > maxy THEN
        maxy = y3
        maxx = x3
    END IF
    x1 = x2
    y1 = y2
LOOP
CLOSE
LOCATE 22, 20: PRINT "End point is "; maxx; " ml.";

```

```

LOCATE 24, 20: INPUT "Press Y to continue, others to quit. ", aee$
IF UCASE$(aee$) = "Y" THEN
    GOTO start
END IF
END
errh:
    LOCATE 23, 20: PRINT "File not exist. Enter new file:"; TAB(80);
    LOCATE 23, 52: INPUT " ", n$
    IF n$ = "" THEN
        PRINT "Program terminate."
        ON ERROR GOTO 0
    ELSE
        LOCATE 23, 20: PRINT TAB(80);
        RESUME
    END IF

SUB printd
x1 = PMAP(0, 2)
x2 = PMAP(548, 2)
y1 = PMAP(0, 3)
y2 = PMAP(296, 3)
VIEW: WINDOW
' m=6 for 8 pins (t=1) m=40 for 24 pins (t=3)
' m=6 hor 90 dpi ver 60 dpi
' total data=(n1+n2*256)*t
' esc * m n1 n2 data
WIDTH LPRINT 255
t = 1
n2 = INT(640 / t / 256)
n1 = INT((640 / t) - n2 * 256)
LPRINT CHR$(27); CHR$(64);
LPRINT CHR$(27); CHR$(108); CHR$(1);
LPRINT CHR$(27); CHR$(81); CHR$(255);
LPRINT CHR$(27); CHR$(108); CHR$(1);
LPRINT CHR$(27); CHR$(81); CHR$(80);
LPRINT CHR$(27); CHR$(51); CHR$(24);
'line space n/180 inches

' Calc
FOR i = 0 TO 80
    LPRINT CHR$(27); "*"; CHR$(6); CHR$(n1); CHR$(n2);
    LPRINT STRING$(80, CHR$(0));
    FOR Y = 348 TO 0 STEP -1
        ct = 1: dt = 0
        FOR l = 7 TO 0 STEP -1
            x = (i * 8) + 1
            col = POINT(x, Y)
            IF col <> 0 THEN
                dt = dt + ct
            END IF
            ct = ct + ct
        NEXT
        LPRINT CHR$(dt); CHR$(dt);
    NEXT
    LPRINT CHR$(13);
NEXT
LPRINT CHR$(27); "*"; CHR$(6); CHR$(n1); CHR$(n2);
LPRINT STRING$(60, CHR$(0));
LPRINT STRING$(602, CHR$(&H80));
LPRINT CHR$(12);
LPRINT CHR$(27); CHR$(64);
VIEW (2, 2)-(550, 298)
WINDOW (x1, y1)-(x2, y2)
END SUB

```

บรรณานุกรม

1. Herman, F.M.; Norbert M.B.; Charles G.O.; Georg M.; Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, 2nd ed., pp.730-778, vol.17, USA, 1989
2. สมาคมสิ่งแวดล้อมไทย , คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย (ศ.ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ อุษา วิเศษสุนน) พิมพ์ครั้งที่ 2 , หน้า 1-6,14-19,31,54-56,286-306,346-359,371-374, พ.ศ.2535.
3. นายเกรียงศักดิ์ รุกขจันทกุล และนางสาวปิยดา เจริญศิริสมบุรณ์ "การสังเคราะห์และการตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะของกราฟท์โคพอลิเมอร์เพื่อใช้เป็นสารเร่งการตกตะกอน" วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี, ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , ปีการศึกษา 2535.
4. Kirk-Other , Encyclopedia of Chemical Technology , 3rd.ed., vol.10 , pp.489-523 , JohnWiley&Sons , U.S.A., 1980.
5. Industrial Pollution Control Handbook, 1st ed., pp.13, McGraw-Hill Book Company, USA, 1971
6. Field, J.R.; and Smalley, G. " Flocculatings Agents " US.Pat. 3,897,333 July.29, 1975.
7. N.M. Bikales Water Soluble Polymer 1st ed., PP. Plenum press, New york, 1973.
8. David, A.M.; Synthetic Polyelectrolytes, pp.29-41, Polymer International, 25, 1991
9. Kurita Water Industries " Flocculants " Chem. Abstract No. 102:225553g
10. Pelton, R.H. "Model Cationic Flocculants from the Mannich Reaction of Polyacrylamide" J. Polym. Sci 22(12), (1984): PP. 3955-3966.
11. Wurzburg, O.B.; "Modified Starch:Properties and Uses", 3rd ed., pp.150-162, CRC Press, Florida, 1987
12. McDonal, C.J. and Beaver, R.H.; " The Mannich Reaction of Polyacrylamide" Macromolecules , 12(2) March-April 1979
13. A.M.Schiller and T.J.Suen, "Ionic Derivatives of Polyacrylamide", J.Industry and Engineering Chemistry, 48(12), 1956, pp'2132-2137