

โคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เฮดจากเมล็ดมะรุม



นางสาว ณัฐนารถ ประสมศรี

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ.2538

ISBN 974 - 632 - 354 - 7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16451681

Moringa Seeds as Coagulant and Coagulant Aid



Miss Nattarart Prasomsri

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirement
for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974 - 632 - 354 - 7

หัวข้อวิทยานิพนธ์

โคเอกกุลแลนต์และโคเอกกุลแลนต์เอดจากเมล็ดมะรุม

โดย

นางสาวณัฐนารถ ประสมศรี

ภาควิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.มันสิน ตันทุลเวศม์



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สันทิ อึ้งสุวรรณ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันทิ อึ้งสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกร

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

มันสิน ตันทุลเวศม์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.มันสิน ตันทุลเวศม์)

ไพพรรณ พรประภา

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

สุวิ ขาวเขียว

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุวิ ขาวเขียว)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



ณัฐนารต ประสมศรี : โคนอกกุกแลนค์และโคนอกกุกแลนค์เอคจาก เมล็ดมะขาม (MORINGA SEEDS AS COAGULANT AND COAGULANT AID) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.มันสิน ดัดทุล เวศม์ 214 หน้า, ISBN 974-632-354-7

งานทดลองวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการนำเอา เมล็ดมะขามมาใช้เป็นสารโคนอกกุกแลนค์และ โคนอกกุกแลนค์เอคสำหรับการกำจัดความขุ่นในกระบวนการโคนอกกุกแลนซ์ การทดลองวิจัยกระทำเพื่อทดสอบ ประสิทธิภาพของการเป็นโคนอกกุกแลนค์และโคนอกกุกแลนค์เอคของ เมล็ดมะขาม นอกจากนี้ยังทำการศึกษาเพื่อ หาวิธีการที่เหมาะสม เพื่อเตรียมโคนอกกุกแลนค์จาก เมล็ดมะขาม ที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด วิธีการที่ ใช้ในการทดลองคือวิธีจาร์เทสต์ น้ำคั้นที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำขุ่นสังเคราะห์จากดินคาโอลิน ที่มีค่าความขุ่น 20 50 100 200 และ 300 เอ็นทียู นอกจากนี้ยังใช้น้ำคั้นธรรมชาติจาก 2 แหล่ง คือ น้ำคั้นจากคลอง ประปาและแม่น้ำนครชัยศรี

โคนอกกุกแลนค์จาก เมล็ดมะขาม เตรียมได้จากการนำ เมล็ดมะขามจากฝักแห้งมาบดให้แห้ง หลังจากนั้น ละลายด้วยตัวทำละลาย ในการทดลองนี้ใช้ตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ น้ำ กรดไฮโดรคลอริก 0.05 นอร์มอล โซเดียมคาร์บอเนต 0.05 นอร์มอล และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 นอร์มอล พบว่าตัวทำละลาย ทั้ง 4 ชนิดไม่สามารถละลาย เมล็ดมะขามได้หมด โคนอกกุกแลนค์จาก เมล็ดมะขามที่ได้จึงอยู่ในรูปของสารแขวน-ลอย

จากการทดสอบประสิทธิภาพของการใช้ เมล็ดมะขาม เป็นโคนอกกุกแลนค์ พบว่าไม่สามารถใช้ เมล็ดมะขามเป็นโคนอกกุกแลนค์เพียงอย่างเดียวได้ แม้ว่าจะสามารถลดความขุ่นได้ 40 - 90 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าความขุ่นตกค้างที่ได้ยังมีค่าสูง นอกจากนี้ปริมาณที่ต้องเติมก็นับว่าสูงมาก สำหรับการ ใช้ เมล็ดมะขามร่วมกับสาร สัมจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้ เมล็ดมะขามเพียงอย่างเดียว โดยให้ค่าความขุ่นตกค้างต่ำกว่า 10 เอ็นทียูได้ จากการทดลองพบว่าการเติม เมล็ดมะขามก่อน เติมน้ำส้มให้ประสิทธิภาพดีกว่าการเติมน้ำส้มก่อน เมล็ดมะขาม นอกจากนี้ยังพบว่าตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับใช้เตรียมสารโคนอกกุกแลนค์จาก เมล็ดมะขาม คือ กรดไฮโดรคลอริก เพราะจะใช้ในปริมาณที่น้อยที่สุดแต่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด รองลงมาคือ โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮดรอกไซด์ และน้ำตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา 2537

ลายมือชื่อนิสิต *ณัฐนารต*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *มันสิน*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C517549 : MAJOR SANITARY ENGINEERING

KEY WORD:

: COAGULATION / COAGULANT / COAGULANT AID / MORINGA / POLYMER

NATTANART PARSOMSRI : MORINGA SEEDS AS COAGULANT AND COAGULANT AID.

THESIS ADVISOR : ASSO.PROF.MUNSIN TANTOONVEST ,Ph.D., 214pp. ISBN

974 - 632 - 354 - 7

In this experimental research, moringa seeds was used as coagulant and coagulant aid for removing turbidity. Also four method of coagulant preparation from moringa seeds were investigated. The effectiveness of moringa seeds as coagulant and coagulant aid were studied by using a jar test method. Both synthetic water and natural surface water were used as raw water in this studying. Synthetic raw water prepared from kaolinite clay and tap water and natural raw water was obtained from Klong Prapa and Nakornchaisri river. The turbidity level of synthetic raw water being studied were 20, 50, 100, 200 and 300 NTU.

The coagulant from moringa was prepared by dissolving the moringa seeds powder in solvent. In this research, 4 types of solvent were used, they were water, 0.05 N. hydrochloric acid, 0.05 N. sodium carbonate and 0.05 N. sodium hydroxide. No complete dissolution was founded and all of coagulants were in suspension.

Results showed that moringa seeds could not used as coagulant alone because residual turbidity in treated water was still high although turbidity removal efficiency range covered 40 - 90%. The combined use of moringa seeds and alum gave more efficiency than using morinag seeds alone and produced the treated water with turbidity less than 10 NTU. Addition sequence of alum and moringa seeds was found important. It was founded that adding moringa seeds before alum gave more efficiency than adding alum before. The best solvent used to prepare coagulant was hydrochloric acid since high turbidity removal efficiency was obtained at lower doses. The second best solvent was sodium carbonate and followed by sodium hydroxide and water the worst solvent.

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสุขาภิบาล

ปีการศึกษา..... 2537

ลายมือชื่อนิสิต..... *Nattana*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Bun*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตันกุลเวศม์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำในเรื่องต่าง ๆ เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถทำการทดลองวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ รองศาสตราจารย์สุรี ชาวเขียว และรองศาสตราจารย์ไพพรรณ พรประภา ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการแก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้มอบความรู้ต่าง ๆ ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทางภาควิชาชีพวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณพี่ ๆ และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือทั้งในด้านกำลังใจและกำลังกาย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ จนทำให้สามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดต้องขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัย อันประกอบไปด้วย บิดา มารดา และน้อง ทั้ง 2 คนที่ให้ความช่วยเหลือทุกด้าน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา หากวิทยานิพนธ์นี้พอมีคุณประโยชน์อยู่บ้าง ก็ขอบมอบความดีนั้นกลับไปให้ครอบครัวของผู้วิจัยได้รับไว้



๕

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	๖
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๖
กิตติกรรมประกาศ.....	๗
สารบัญ.....	๗
สารบัญตาราง.....	๘
สารบัญรูป.....	๘
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....	3
ทฤษฎีของกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	3
1. เสถียรภาพของคอลลอยด์.....	3
2. การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์.....	4
2.1 กลไกการลดความหนาของชั้นกระจาย.....	5
2.2 กลไกดูดติดผิวและทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์.....	5
2.3 กลไกการจับอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น.....	5
2.4 กลไกการใช้สารอินทรีย์โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์.....	7
โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมีหรือสารสังเคราะห์.....	9
1. โคแอกกูเลชันด้วยสารส้มและสารประกอบเหล็ก.....	9
2. โคแอกกูเลชันด้วยโพลีเมอร์สังเคราะห์.....	13
3. ผลกระทบจากการใช้โคแอกกูแลนต์สังเคราะห์.....	18
3.1 ผลกระทบจากสารส้ม.....	18
3.2 ผลกระทบจากโพลีเมอร์สังเคราะห์.....	19
โคแอกกูเลชันด้วยดินชนิดต่าง ๆ.....	19
โคแอกกูเลชันด้วยสารห่วยทะเล.....	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
โคแอกกูเลชันด้วยผลิตภัณฑ์ของสัตว์น้ำ.....	20
โคแอกกูเลชันด้วยพืช.....	21
1. องค์ประกอบทางเคมีของโคแอกกูแลนต์จากพืช.....	22
2. ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโคแอกกูแลนต์ที่ได้จากพืช.....	23
2.1 ธรรมชาติทางเคมีของคอลลอยด์ในน้ำ.....	23
2.2 พีเอชและไอออนในน้ำ.....	24
2.3 ความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์.....	24
3. ผลกระทบจากการใช้โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติจากพืช.....	25
3.1 คุณภาพน้ำทางเคมี.....	25
3.2 ปริมาณแบคทีเรียในน้ำ.....	25
3.3 พืชที่อาจมีต่อสุขภาพ.....	25
3.4 สารปฏิชีวนะที่ปรากฏในโคแอกกูแลนต์จากพืช.....	25
การใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์.....	26
1. ลักษณะของมะรุมและการใช้ประโยชน์.....	26
2. การศึกษาถึงการใช้มะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์.....	26
บทที่ 3 แผนงานและการดำเนินงานวิจัย.....	30
แผนการวิจัย.....	30
การเตรียมการทดลอง.....	30
1. การเตรียมสารเคมี.....	30
1.1 สารเคมีที่ใช้ในการไตเตรทหาประจุ.....	31
1.2 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะรุม.....	32
1.3 สารเคมีที่ใช้ในการหาค่าความเป็นด่าง (Alkalinity).....	34
1.4 สารเคมีอื่นๆ.....	34
2. เครื่องมือและอุปกรณ์.....	35
3. การเตรียมน้ำชุ่นสังเคราะห์.....	36
4. การเตรียมโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะรุม.....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5. การวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของโคแอกกูแลนต์จาก เมล็ดมะรุม.....	37
การทดลองเบื้องต้น.....	39
1. การตรวจสอบประจุของสารโคแอกกูแลนต์.....	39
2. การทดสอบเบื้องต้นถึงประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์และ โคแอกกูแลนต์เฮด.....	41
การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เฮด.....	41
1. วิธีที่ใช้ในการทดสอบ.....	41
2. ตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	42
3. ขั้นตอนและจำนวนการทดลอง.....	42
การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและเสนอแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้.....	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	46
การเตรียมโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะรุม.....	46
1. การเตรียมผงเมล็ดมะรุม.....	46
2. องค์ประกอบทางเคมีของผงเมล็ดมะรุม.....	46
3. การเตรียมสารแขวนลอยจากผงเมล็ดมะรุม.....	50
การวัดประจุของโคแอกกูแลนต์.....	53
การใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์.....	64
1. ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น.....	64
2. ผลกระทบต่อพีเอช และความเป็นด่างของน้ำ.....	72
3. อิทธิพลของพีเอช.....	76
4. การทดสอบความเสื่อมของผงเมล็ดมะรุม.....	79
5. การทดสอบกับน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ.....	79
6. การนำไปใช้งาน.....	83

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เฮด.....	84
1. ประสิทธิภาพในการกำจัดความชุ่ม.....	84
2. อธิพิพลของพีเอช.....	93
3. การทดสอบกับน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ.....	98
4. การนำไปใช้งาน.....	98
การใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เฮดร่วมกับเมล็ดมะรุม.....	103
1. ประสิทธิภาพในการกำจัดความชุ่ม.....	103
2. การทดสอบกับน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ.....	103
3. การนำไปใช้งาน.....	103
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์เฮดระหว่างเมล็ด มะรุมกับสารส้ม.....	107
การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์และ โคแอกกูแลนต์เฮด.....	107
1. ค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เปรียบเทียบ กับการใช้สารส้ม.....	110
2. ค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เฮดเปรียบเทียบ กับการใช้สารส้มอย่างเดียว.....	113
3. ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เฮดร่วมกับ เมล็ดมะรุม.....	113
การเสนอแนวทางในการนำไปใช้ในงานประปา.....	116
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	117
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยเพิ่มเติม.....	119
รายการอ้างอิง.....	120
ภาคผนวก ก.....	124
ภาคผนวก ข.....	129
ประวัติผู้เขียน.....	214

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2-1	ขนาดและความสามารถในการตกตะกอนของอนุภาคต่าง ๆ.....	4
ตารางที่ 3-1	โคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะรุมที่ใช้ในการทดลอง.....	38
ตารางที่ 3-2	การวิเคราะห์ห่องค์ประกอบทางเคมีของผงเมล็ดมะรุม.....	38
ตารางที่ 3-3	การไตเตรทย้อนกลับเพื่อหาประจุของโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะรุม.....	40
ตารางที่ 3-4	จำนวนชุดการทดลองทั้งหมดในการวิจัย.....	43
ตารางที่ 3-5	แผนการทำ Jar-test ในการทดลองวิจัย.....	44
ตารางที่ 4-1	ผลการวิเคราะห์ห่องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะรุม.....	47
ตารางที่ 4-2	ประจุของเมล็ดมะรุมอายุ 0 เดือนที่ที่เขตต่าง ๆ.....	57
ตารางที่ 4-3	ประจุของโคแอกกูแลนต์จากผงเมล็ดมะรุมที่อายุต่าง ๆ.....	61
ตารางที่ 4-4	ความขุ่นตกค้างเมื่อใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์.....	65
ตารางที่ 4-5	ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์.....	67
ตารางที่ 4-6	ค่าความเป็นด่างที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์.....	74
ตารางที่ 4-7	ความขุ่นตกค้างเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์.....	85
ตารางที่ 4-8	ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์.....	85
ตารางที่ 4-9	ความขุ่นตกค้างและประสิทธิภาพในการลดความขุ่น เมื่อใช้มะรุม เป็นโคแอกกูแลนต์เอค เมื่อใช้สารส้ม 50% ของปริมาณที่เหมาะสม.....	86
ตารางที่ 4-10	ความขุ่นตกค้างและประสิทธิภาพในการลดความขุ่น เมื่อใช้มะรุมเป็น โคแอกกูแลนต์เอค เมื่อใช้สารส้ม 25% ของปริมาณที่เหมาะสม.....	87
ตารางที่ 4-11	ความขุ่นตกค้างและประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้มะรุม 50% ของปริมาณที่เหมาะสมและใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เอค.....	104
ตารางที่ 4-12	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์เอคระหว่าง สารส้มกับเมล็ดมะรุม.....	108
ตารางที่ 4-13	ค่าใช้จ่ายในการเตรียมตัวทำละลายเพื่อเตรียมโคแอกกูแลนต์ จากเมล็ดมะรุม.....	111

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4 - 14	ค่าใช้จ่ายในการเตรียมโคแอกกูแลนต์จากผงเมล็ดมะรุม 1 กิโลกรัม.....	111
ตารางที่ 4 - 15	ค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ต่อการผลิตน้ำ 1 ลบ.ม.....	112
ตารางที่ 4 - 16	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด ร่วมกับสารส้ม.....	114
ตารางที่ 4 - 17	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์โดย ใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	115



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 2-1	กลไกต่าง ๆ ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	6
รูปที่ 2-2	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการใช้กลไกสะพานเชื่อม.....	8
รูปที่ 2-3	Equilibrium Solubility ของ $Al(OH)_3$	11
รูปที่ 2-4	Equilibrium Solubility ของ $Fe(OH)_3$	12
รูปที่ 2-5	ไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วยสารส้ม.....	14
รูปที่ 2-6	ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารส้มและสารประกอบเหล็ก (ลดความขุ่น ได้ 50 %) ที่พีเอชต่าง ๆ.....	15
รูปที่ 2-7	ตัวอย่างโครงสร้างของโพลีเมอร์ชนิดต่าง ๆ.....	16
รูปที่ 3-1	ขั้นตอนการทดลองโดยสรุป.....	45
รูปที่ 4-1	ลักษณะของเมล็ดมะรุม.....	48
รูปที่ 4-2	องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะรุมที่อายุ 0, 1 และ 2 เดือน.....	49
รูปที่ 4-3	สารแขวนลอยที่ได้จากการละลายเมล็ดมะรุมในตัวทำละลายต่าง ๆ.....	51
รูปที่ 4-4	ลักษณะของสารแขวนลอยจากผงเมล็ดมะรุม.....	52
รูปที่ 4-5	ประจุของสารส้มที่พีเอช 7.....	54
รูปที่ 4-6	ประจุของ NALCO 9904 (โพลีเมอร์ประจุบวก) ที่พีเอช 7.....	54
รูปที่ 4-7	ประจุของ NALCO AP130 (โพลีเมอร์ประจุลบ) ที่พีเอช 7.....	55
รูปที่ 4-8	กราฟแสดงค่าประจุของเมล็ดมะรุมในตัวทำละลายต่าง ๆ.....	58
รูปที่ 4-9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประจุกับความเข้มข้นของเมล็ดมะรุม ที่พีเอชต่าง ๆ.....	59
รูปที่ 4-10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประจุของเมล็ดมะรุมกับพีเอชที่ ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	60

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4 - 11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประจุกับอายุของผงเมล็ดมะรุม.....	62
รูปที่ 4 - 12	กราฟแสดงปริมาณประจุของเมล็ดมะรุมในตัวทำละลายต่าง ๆ เมื่อใช้ผงเมล็ดมะรุม 0 , 1 และ 2 เดือน.....	63
รูปที่ 4 - 13	ความขุ่นตกค้างของน้ำขุ่นสังเคราะห์ความขุ่นต่าง ๆเมื่อใช้เมล็ดมะรุม ในตัวทำละลายแต่ละชนิดเป็นโคเอกกูแลนต์.....	66
รูปที่ 4 - 14	ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของโคเอกกูแลนต์จากเมล็ดมะรุมใน ตัวทำละลายต่าง ๆ.....	68
รูปที่ 4 - 15	ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคเอกกูแลนต์ สำหรับน้ำขุ่นสังเคราะห์ความขุ่นต่าง ๆ.....	69
รูปที่ 4 - 16	ลักษณะของฟลอคที่ได้อันเนื่องจากการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคเอกกูแลนต์.....	71
รูปที่ 4 - 17	การเปลี่ยนแปลงพีเอชเมื่อใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคเอกกูแลนต์.....	73
รูปที่ 4 - 18	การเปลี่ยนแปลงของความเป็นด่างเมื่อใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคเอกกูแลนต์.....	73
รูปที่ 4 - 19	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นตกค้างกับพีเอชเมื่อใช้มะรุมในน้ำเป็น โคเอกกูแลนต์.....	75
รูปที่ 4 - 20	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นตกค้างกับพีเอชเมื่อใช้มะรุมใน กรดไฮโดรคลอริกเป็นโคเอกกูแลนต์.....	76
รูปที่ 4 - 21	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นตกค้างกับพีเอชเมื่อใช้มะรุมใน โซเดียมคาร์บอเนตเป็นโคเอกกูแลนต์.....	77
รูปที่ 4 - 22	ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นตกค้างกับพีเอชเมื่อใช้มะรุมใน โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นโคเอกกูแลนต์.....	78
รูปที่ 4 - 23	กราฟแสดงค่าความขุ่นตกค้างเมื่อใช้ผงเมล็ดมะรุมที่อายุ 0 , 1 และ 2 เดือนเป็นโคเอกกูแลนต์.....	80

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4 - 24 ความขุ่นตกค้างของน้ำดิบธรรมชาติเมื่อใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์.....	81
รูปที่ 4 - 25 ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของเมล็ดมะรุมสำหรับน้ำดิบจากธรรมชาติ.....	82
รูปที่ 4 - 26 ความขุ่นตกค้างของน้ำขุ่นสังเคราะห์เมื่อใช้สารส้ม 50% ของปริมาณ ที่เหมาะสมและใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	88
รูปที่ 4 - 27 ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้สารส้ม 50% ของปริมาณที่ เหมาะสมและใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	89
รูปที่ 4 - 28 ความขุ่นตกค้างของน้ำขุ่นสังเคราะห์เมื่อใช้สารส้ม 25% ของปริมาณที่ เหมาะสมและใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	90
รูปที่ 4 - 29 ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้สารส้ม 25% ของปริมาณที่ เหมาะสมและใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	91
รูปที่ 4 - 30 ลักษณะของฟล็อกเมื่อมีการเติมเมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	92
รูปที่ 4 - 31 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นตกค้างกับพีเอชเมื่อใช้เมล็ดมะรุมในน้ำ เป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	94
รูปที่ 4 - 32 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นตกค้างกับพีเอชเมื่อใช้เมล็ดมะรุมใน กรดไฮโดรคลอริกเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	95
รูปที่ 4 - 33 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นตกค้างกับพีเอชเมื่อใช้เมล็ดมะรุมใน โซเดียมคาร์บอเนตเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	96
รูปที่ 4 - 34 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นตกค้างกับพีเอชเมื่อใช้เมล็ดมะรุมใน โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	97
รูปที่ 4 - 35 ความขุ่นตกค้างเมื่อใช้สารส้ม 50% ของปริมาณที่เหมาะสมและใช้มะรุม เป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	99

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4 - 36 ความชุ่นตกค้างเมื่อใช้สารส้ม 25% ของปริมาณที่เหมาะสมและใช้มะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	100
รูปที่ 4 - 37 ประสิทธิภาพในการลดความชุ่นเมื่อใช้สารส้ม 50% ของปริมาณที่เหมาะสมและใช้มะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	101
รูปที่ 4 - 38 ประสิทธิภาพในการลดความชุ่นเมื่อใช้สารส้ม 25% ของปริมาณที่เหมาะสมและใช้มะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	102
รูปที่ 4 - 39 ความชุ่นตกค้างเมื่อใช้มะรุม 50% ของปริมาณที่เหมาะสมและใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	105
รูปที่ 4 - 40 ประสิทธิภาพในการลดความชุ่นเมื่อใช้มะรุม 50% ของปริมาณที่เหมาะสมและใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด.....	106
รูปที่ 4 - 41 ความสัมพันธ์ระหว่างลำดับของการเติมสารส้มกับเมล็ดมะรุมที่มีผลต่อค่าความชุ่นตกค้าง.....	109

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย