



รายงานการวิจัย

การผลิตน้ำใช้ได้อย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ
Eco-friendly Used Water Production using Natural Coagulants

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปทุมทิพย์ ปราบพาล
รองศาสตราจารย์ชนิษฐา เจริญลาภ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
งบประมาณแผ่นดินปี พ.ศ. 2556
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

การผลิตน้ำใช้ได้อย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยสารโคแอกกูแลนซ์จากธรรมชาติ

Eco-friendly Used Water Production using Natural Coagulants

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปทุมทิพย์ ปราบพาล
รองศาสตราจารย์ชนิษฐา เจริญลาภ

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการปรับสภาพน้ำผิวดินโดยใช้เมล็ดพืชเป็นสารรวมตะกอน ตัวแปรที่ศึกษา คือ ชนิดเมล็ดพืช ความขุ่นเริ่มต้นและความกระด้างเริ่มต้น โดยออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์ ตัวแปรที่ใช้ในการหาภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ความขุ่นเริ่มต้น 62.5, 125, 250 และ 500 NTU ความกระด้างเริ่มต้น 75, 150, 300 และ 600 mg/l และ ชนิดเมล็ดพืช มะรุม มะขาม ข้าวโพด และ ถั่วเขียว ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ความความกระด้างเริ่มต้น ความขุ่นเริ่มต้น และชนิดเมล็ดพืช มีผลต่อการลดความขุ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความกระด้างเริ่มต้น และชนิดเมล็ดพืช มีผลต่อการลดความกระด้างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความขุ่นเริ่มต้นไม่มีผลต่อการลดความกระด้างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ABSTRACT

The objective of this research was to the most suitable conditions for the use of surface water and coagulant seeds. The variable were as follows : kind of seeds, initial turbidity and initial hardness, Latin square were used as the experimental design. The initial turbidity were 62.5, 125, 250 and 500 NTU. The initial hardness were 75, 150, 300 and 600 mg/l and the kind of seeds were moringa, tamarind, corn and green beans. The statistical analysis results showed that the initial hardness, initial turbidity and kind of seeds were not significantly influence on the amount of reducing turbidity. However the initial hardness and kind of seeds were significantly influence on the amount of reducing hardness, but the initial turbidity was not significantly influence on the amount of reducing hardness.



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการผลิตน้ำใช้ได้อย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยสารโคแอ็กทูแลนต์จากธรรมชาติสำเร็จบรรลุตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2556 ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้โอกาส เอื้อเพื่อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
ABSTRACT	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
รายการตาราง	ช
รายการรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	5
2.1 เมล็ดพืชที่ใช้บำบัดในงานวิจัยนี้	5
2.2 สมบัติของน้ำ	15
2.3 กระบวนการโคแอกกูเลชัน	17
2.4 คอลลอยด์	18
2.5 การใช้สารช่วยสร้างตะกอน	22
2.6 การทดลองจาร์เทส	22
2.7 แผนการทดลองแบบลาตินสแควร์	23
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินการงานวิจัย	29
3.1 อุปกรณ์	29
3.2 วัสดุดิบ	30

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 เครื่องมือ	30
3.4 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ	30
3.5 การหาภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอนด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ31	
3.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์ ของสารละลายผงแป้ง จากเมล็ดพืช กับสารส้ม	32
3.7 ประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดพืช เป็นสารโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอดเปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปราย	35
4.1 ผลจากการเตรียมวัตถุดิบ	35
4.2 ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดความขุ่นและความกระด้าง โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองเป็นแบบลาตินสแควร์	36
4.3 ผลการศึกษาการปรับสภาพน้ำผิวดินสังเคราะห์โดยใช้สารส้ม	43
4.4 ประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดพืช เป็นสารโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอดเปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม	44
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการทดลอง	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	47
บรรณานุกรม	48
ภาคผนวก	52
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลองและการวิเคราะห์	53
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดลองการลดความขุ่นและความกระด้าง	57
ภาคผนวก ค. วิธีการคำนวณทางสถิติ	77
ภาคผนวก ง. ข้อมูลการทดลองศึกษาภาวะที่เหมาะสมแบบละเอียด	86
ภาคผนวก จ. ความน่าจะเป็นแบบเอฟ	91
ประวัติผู้เขียน	92

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 คุณค่าทางอาหารเปรียบเทียบระหว่างผล (ฝัก) ใบสดและใบแห้งของมะรุม ปริมาณ 100 g	7
2.2 องค์ประกอบแร่ธาตุและวิตามินบางชนิดของถั่วเขียว (ในส่วนของที่กินได้ 100 g)	10
2.3 คุณค่าทางอาหารเปรียบเทียบระหว่าง ผลอ่อนและฝักสดของมะขามปริมาณ 100 g	12
2.4 คุณค่าทางอาหารของข้าวโพด ปริมาณ 100	15
3.1 ภาวะในการบำบัดน้ำดิบแบบจาร์เทสต์โดยการออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์	31
4.1 ประสิทธิภาพการลดความขุ่น (%)	37
4.2 ประสิทธิภาพการลดความกระด้าง (%)	38
4.3 ผลรวมและค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองของค่าประสิทธิภาพการลดความขุ่น	38
4.4 ผลรวมและค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองของค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้าง	39
4.5 การวิเคราะห์หาความแปรปรวนของค่าประสิทธิภาพการลดความขุ่น	39
4.6 การวิเคราะห์หาความแปรปรวนของค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้าง	30
4.7 ผลการคำนวณค่าความแปรปรวนของค่าความขุ่นเพื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าประสิทธิภาพการลดความขุ่น	40
ก.1 การออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์	53
ก.2 การเตรียมน้ำผิวดินสังเคราะห์สำหรับสารสกัดจากเมล็ดมะรุม	54
ก.3 การเตรียมน้ำผิวดินสังเคราะห์สำหรับสารสกัดจากเมล็ดมะขาม	55
ก.4 การเตรียมน้ำผิวดินสังเคราะห์สำหรับสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพด	55
ก.5 การเตรียมน้ำผิวดินสังเคราะห์สำหรับสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียว	55
ข.1 ปริมาณการใช้สารส้มในการลดความขุ่น	74
ข.2 ปริมาณการใช้สารส้มในการลดความกระด้าง	74
ข.3 แบล็คความขุ่นน้ำพีช	74
ข.4 แบล็คความขุ่นน้ำพีช	75

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข.5 แปลงค่าความชื้นน้ำผิวดินสังเคราะห์	75
ข.6 แปลงค่าความกระต้างน้ำผิวดินสังเคราะห์	75
ข.10 แปลงค่าความชื้นสารส้ม	76
ข.11 แปลงค่าความกระต้าง	76
ค.1-1 แผนผังการออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์	78
ค.1-2 ประสิทธิภาพการลดความชื้น (%)	78
ค.1-3 ประสิทธิภาพการลดความกระต้าง (%)	78
ค.2-1 ผลรวมในแต่ละ Column และ Row ของค่าประสิทธิภาพการลดความชื้น	79
ค.2-2 ผลรวมในแต่ละ Column และ Row ของค่าประสิทธิภาพการลดความกระต้าง	79
ค.2-3 ผลรวมและค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองของค่าประสิทธิภาพการลดความชื้น	80
ค.2-4 ผลรวมและค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองของค่าประสิทธิภาพการลดความกระต้าง	80
ค.2-5 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนประสิทธิภาพการลดของค่าความชื้น	81
ค.2-6 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนประสิทธิภาพการลดของค่าความกระต้าง	81
ค.3-1 การเปรียบเทียบ Orthogonal comparison ค่าประสิทธิภาพการลดความกระต้าง	83
ค.3-2 การคำนวณเปรียบเทียบระหว่างชนิดเมล็ดพืชของค่าประสิทธิภาพการลดความกระต้าง	83
ค.3-3 ผลการคำนวณค่าความแปรปรวนเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืชของค่าประสิทธิภาพการลดความกระต้าง	84
ค.4-1 ประสิทธิภาพการลดของความชื้นโดยสารส้ม	85
ค.4-2 ประสิทธิภาพการลดของความกระต้างโดยสารส้ม	85
จ.1 ตารางความน่าจะเป็นแบบเอฟ	91

รายการรูป

รูป	หน้า
2.1 ลักษณะต้นมะรุ้ม	4
2.2 ลักษณะเมล็ดถั่วเขียว	8
2.3 ลักษณะฝักมะขาม	10
2.4 ลักษณะฝักข้าวโพด	13
2.5 การจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ	17
2.6 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์ (ก) ก่อนเติมไอออน (ข) หลังจากการเติมไอออนแล้ว	19
2.7 การเปรียบเทียบปริมาณโคแอกกูแลนต์	19
2.8 เกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคต่างๆทั้ง 5 ประเภท	20
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มและค่าพีเอช	22
2.10 กลไกในการสร้างโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม	22
2.11 ไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม	23
2.12 แสดงรูปร่างโพลีเมอร์ประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลในปริมาณล้านหน่วย	24
2.13 ผังลำดับสแควร์มาตรฐานแบบ 2×2	25
2.14 ผังลำดับสแควร์มาตรฐานแบบ 3×3	25
2.15 ผังลำดับสแควร์มาตรฐานแบบ 4×4 แบบที่ 1	25
2.16 ผังลำดับสแควร์มาตรฐานแบบ 4×4 แบบที่ 2	26
2.17 ผังลำดับสแควร์มาตรฐานแบบ 4×4 แบบที่ 3	26
2.18 ผังลำดับสแควร์มาตรฐานแบบ 4×4 โดยการสุ่มตัวอย่าง	26
2.19 ผังลำดับสแควร์มาตรฐานแบบ 4×4 โดยการสุ่มแถวแนวนอน	27
2.20 ผังลำดับสแควร์มาตรฐานแบบ 4×4 โดยการสมมติแนวตั้ง	27
4.1 ผงเมล็ดพืชที่ผ่านการคัดขนาดก) ผงมะรุ้ม ข) ผงมะขาม ค) ผงข้าวโพด ง) ผงถั่วเขียว	35
4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดลงของความขุ่นจากสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดและสารส้ม	36
4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดลงของความกระด้างจากสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดและ สารส้ม	42

รายการรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ข.1 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A1	57
ข.2 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A6	58
ข.3 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A11	59
ข.4 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A16	60
ข.5 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A2	61
ข.6 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A7	62
ข.7 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A12	63
ข.8 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A13	64
ข.9 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A3	65
ข.10 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A8	66
ข.11 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A9	67
ข.12 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A14	68
ข.13 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A4	69
ข.14 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A5	70
ข.15 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A10	71
ข.16 น้ำหลังปรับสภาพของการทดลอง A15	72
ง.1 น้ำหลังปรับสภาพที่ pH 5	86
ง.2 น้ำหลังปรับสภาพที่ pH 6	87
ง.3 น้ำหลังปรับสภาพที่ pH 7	88
ง.4 น้ำหลังปรับสภาพที่ pH 8	89
ง.5 น้ำหลังปรับสภาพที่ pH 9	90

บทที่ 1

บทนำ

บทนี้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาของการทำวิจัยนี้ วัตถุประสงค์ของวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัยดังต่อไปนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระแสพระราชดำรัสของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว พระราชทานไว้เมื่อวันที่ 17 มีนาคม 2529 ณ พระตำหนักจิตรลดารโหฐาน “...น้ำคือชีวิต หลักสำคัญว่าต้องมีน้ำบริโภค น้ำใช้เพื่อการ เพาะปลูก เพราะว่าชีวิตอยู่ที่นั่น ถ้ามีน้ำคนอยู่ได้ ถ้าไม่มีน้ำคนอยู่ไม่ได้ ไม่มีไฟฟ้าคนอยู่ได้ แต่มีไฟฟ้า ไม่มีน้ำคนอยู่ไม่ได้...” จะเห็นได้ว่าน้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่ามหาศาล มีประโยชน์อย่างยิ่ง ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ สัตว์ และพืช ในช่วงเวลาที่ผ่านมา การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ ทำให้เกิดการขยายตัวของชุมชนเมืองมากขึ้น ดังนั้นความต้องการใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภคจึงเพิ่มสูงขึ้น โดยปริมาณความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค มีความแตกต่างกันระหว่างในเขต เมืองและชนบท ในกรุงเทพมหานคร มีความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคประมาณ 300 ลิตร ต่อคนต่อวัน ในเมืองขนาดใหญ่ มีความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคประมาณ 200-250 ลิตร ต่อคนต่อวัน ในเมืองขนาดเล็ก มีความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคประมาณ 120 ลิตรต่อคน ต่อวัน ส่วนในชนบทพบว่ามีความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคประมาณ 50 ลิตรต่อคนต่อวัน [1] สำหรับน้ำที่ใช้เพื่อการบริโภคและอุปโภค ควรเป็นน้ำที่สะอาดปราศจากสี กลิ่น รส และจุลินทรีย์ ต่างๆ ที่ทำให้เกิดโรค แหล่งน้ำโดยทั่วไปมี 2 แหล่ง คือ แหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะ น้ำผิวดินมักมีสิ่งเจือปนต่างๆ ทำให้น้ำไม่สะอาดเพียงพอสำหรับการอุปโภคหรือบริโภค ดังนั้นก่อนที่จะนำน้ำจากแหล่งน้ำดังกล่าวมาใช้ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ เหล่านั้นให้หมดไป หรือให้เหลือน้อยที่สุด โดยผ่านขั้นตอนกรรมวิธีต่างๆ หลายขั้นตอน ซึ่งระบบที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า ระบบการผลิตน้ำประปา ซึ่งแต่ละขั้นตอนของการผลิตจะช่วยในการเปลี่ยนน้ำดิบที่สกปรก ให้เป็นน้ำ สะอาดได้มาตรฐาน

ขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญในการผลิตน้ำประปา คือขั้นตอนของการตกตะกอนแขวนลอย เพื่อลดความขุ่นของน้ำ ซึ่งเรียกว่า โคแอกกูเลชัน (coagulation) ทั้งนี้เนื่องจากความขุ่นหรือสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กที่เรียกว่า อนุภาคแขวนลอย (colloidal particles) ไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยตัวเองในเวลาที่จำกัด ทำให้คงสภาพแขวนลอยในน้ำหรือเรียกว่ามีเสถียรภาพในน้ำ การมีเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์เกิดขึ้นจากสาเหตุสำคัญสองประการ คือ ขนาดของอนุภาคและประจุตามธรรมชาติของอนุภาค กระบวนการโคแอกกูเลชันเป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ และรวมอนุภาคให้เป็นก้อนฟล็อก (floc) ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ง่ายและเร็วขึ้น สารเคมีหลักที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันเรียกว่า โคแอกกูแลนต์ (coagulant) หรืออาจเรียกว่า ฟล็อกกูแลนต์ (flocculant) และสารเคมีที่ช่วยให้โคแอกกูแลนต์มีประสิทธิภาพดีขึ้นเรียกว่า โคแอกกูแลนต์เอด (foagulant aid) หรือ ฟล็อกกูแลนต์เอด (flocculant Aid) สารโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ สารส้ม (alum , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14.3\text{H}_2\text{O}$) ส่วนโคแอกกูแลนต์เอดที่นิยมใช้คือ สารพอลิเมอร์สังเคราะห์ หรือสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ แต่เนื่องจากสารทั้งสองเป็นสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้น และมีราคาค่อนข้างแพง นอกจากนั้นการใช้สารส้มและปูนขาวก่อให้เกิดแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) ซึ่งเป็นความกระด้างถาวร รวมถึงมีรายงานการวิจัยพบว่าการใช้สารส้มมีผลกระทบต่อสุขภาพ เป็นสาเหตุหนึ่งของการโรคสมองเสื่อม (Alzheimer's disease) [2] และนอกจากนี้พบว่าสารโคแอกกูแลนต์ที่ได้จากสารอินทรีย์สังเคราะห์จากอะคริลาไมด์ (acrylamide) มีความเป็นพิษต่อระบบประสาทและเป็นสารก่อมะเร็ง (Mallevialle, J., et al., 1984) ด้วยเหตุผลข้างต้นนี้จึงได้พยายามศึกษาทดลองหาสารเคมีเสริมจากธรรมชาติ เนื่องจากพอลิอิเล็กโทรไลต์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์สำหรับใช้เป็นสารเคมีเสริมนั้นเป็นจำพวกแป้ง หรือโปรตีน ดังนั้นจึงได้พยายามใช้แป้งและโปรตีนจากเมล็ดพืชต่างๆ ที่ได้จากธรรมชาติมาใช้ทดลองเพื่อทดแทนสารเคมีเหล่านี้ จากการทบทวนเอกสารพบว่า วัสดุธรรมชาติ เช่น เมล็ดถั่วแห้งต่างๆ เมล็ดมะขาม เมล็ดมะรุม เมล็ดกระเจี๊ยบ และเมล็ดผลไม้อื่นๆ รวมทั้งเปลือกกุ้ง สาหร่าย เป็นต้น สามารถนำมาใช้เป็นสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ได้ นอกจากจะให้ประสิทธิภาพที่ดีแล้วยังไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอีกด้วย นักวิทยาศาสตร์หลายคนได้พยายามรวบรวมโคแอกกูแลนต์เหล่านี้ โดยนำมาทดสอบการเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดตามวิธีทางวิทยาศาสตร์ ที่สำคัญประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการเพาะปลูกเป็นอาชีพหลัก และพบว่า ส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ดเปลือก ใบ ราก นั้นมีคุณสมบัติเป็นสารโคแอกกูแลนต์ที่แตกต่างกัน และพบได้ทั่วไปในทุกภาคของ

ประเทศ ซึ่งผู้วิจัยมีความสนใจการปรับสภาพน้ำเพื่อการบริโภคอุปโภค โดยใช้สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ ซึ่งมีความปลอดภัยต่อสุขภาพ และย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

1.2 วัตถุประสงค์ของวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการใช้สารละลายผงแป้งจากเมล็ดพืช เป็นสารโคแอกกูแลนต์ ในการบำบัดน้ำดิบ

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์ ของสารละลายผงแป้งจากเมล็ดพืช กับสารส้ม

1.2.3 เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดพืช เป็นสารโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดเปรียบเทียบกับ การใช้สารส้ม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการใช้สารละลายผงแป้งจากเมล็ดพืช

1.3.1.1 หาภาวะที่เหมาะสมของการใช้สารละลายผงแป้งจากเมล็ดพืชเป็นสารโคแอกกูแลนต์ ในการบำบัดน้ำดิบสังเคราะห์ โดยออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์ซึ่งตัวแปรที่จะศึกษามีค่าดังนี้

- 1) ชนิดของเมล็ดพืช ได้แก่ มะรุม มะขาม ข้าวโพด และถั่วเขียว
- 2) ความกระด้างของการบำบัดน้ำดิบสังเคราะห์ 4 ค่า
- 3) ความขุ่นของการบำบัดน้ำดิบสังเคราะห์ 4 ค่า

1.3.1.2 ทดลองแบบจาร์เทสต์ (Jar test) วิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ค่าความกระด้างและความขุ่น วิเคราะห์ความความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่นและความกระด้างโดยวิธี American Standard Method for the Examination of water and waste water

1.3.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ กับสารส้ม

1.3.3 ประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดพืชเป็นสารโคแอกกูแลนต์เปรียบเทียบกับ การใช้สารส้ม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 รู้ภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพน้ำผิวดินสังเคราะห์โดยใช้ด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ

1.4.2 เป็นแนวทางประเมินความเป็นไปได้ในการนำเมล็ดพืชหรือวัสดุธรรมชาติอื่นๆ มาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ และเป็นโคแอกกูแลนต์เอดส์ ทดแทนสารส้ม และสารพอลิอิเล็กโทรไลต์สังเคราะห์ รวมทั้งนำไปประยุกต์ใช้ในงานประปา อันจะเป็นการช่วยประหยัดและลดค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมี

1.4.3 เป็นแนวทางเสริมในการนำวัสดุท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้ในยามขาดแคลนโดยเฉพาะช่วงน้ำท่วมหรือถิ่นทุรกันดาร

1.4.4 เป็นการลดอันตรายที่จะเกิดต่อสุขภาพในอนาคตจากการใช้สารส้ม

1.4.5 เป็นการเพิ่มคุณค่าของเมล็ดพืชที่เหลือใช้จากโรงงานผลไม้กระป๋อง ซึ่งจะช่วยลดปัญหาและประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะที่อาจปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม



บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

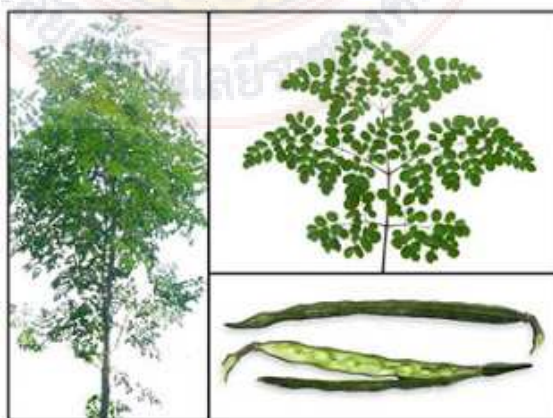
บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับความเป็นมาของสารรวมตะกอน วัตถุประสงค์ที่ใช้ทำสารรวมตะกอน และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ความขุ่นและความกระด้าง ตลอดจนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 เมล็ดพืชที่ใช้บำบัดในงานวิจัยนี้

2.1.1 มะรุม

ชื่อวิทยาศาสตร์	Moringa olifera Lam
วงศ์	Moringaceae
ชื่อสามัญ	horseradish, drumstick tree, ben oil tree
ชื่อพื้นเมือง	ผักอีฮูม ผักอีฮิม มะค้อม- ก้อน กาแน่นแดง ผักเนื้อไก่

"มะรุม" เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางที่ถูกปลูกไว้ในบริเวณบ้านไทยมาแต่โบราณ กินได้หลายส่วนทั้งยอด ดอก และผักเขียว แต่ใครๆ ก็นิยมกินผักมากกว่าส่วนอื่นๆ ต้นมะรุมพบได้ทุกภาคในประเทศไทย ทางอีสานเรียก "ผักอีฮูม หรือผักอีฮิม" ภาคเหนือเรียก "มะค้อม- ก้อน" ชาวกะเหรี่ยงแถบกาญจนบุรีเรียก "กาแน่นแดง" ส่วนชาวฉานแถบแม่ฮ่องสอนเรียก "ผักเนื้อไก่" เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ลักษณะต้นมะรุม [3]

2.1.1.1 ลักษณะทั่วไปมะรุ้ม [4]

มะรุ้มเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง สูง 3-4 m ทรงต้นโปร่ง ใบเป็นแบบขนนก คล้ายกับใบมะขามออกเรียงแบบสลับ ผิวใบด้านล่างสีอ่อนกว่าด้านบน ดอกออกเป็น ช่อสีขาว ดอกมี 5 กลีบ ฝักมีความยาว 20-50 cm ลักษณะเหมือน ไม้ติ๊กลอง เปลือกฝักอ่อนสีเขียวมี ส่วนคอดและ ส่วนมนเป็นระยะตามความยาวของฝัก เปลือกฝักแก่มีสีน้ำตาล เมล็ดมีเยื่อหุ้มลักษณะกลมมีสีน้ำตาล เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 cm

มะรุ้มเป็นพืชที่ปลูกง่าย เจริญเติบโตได้ดีในดินทุกชนิด ต้องการน้ำและความชื้นปานกลาง ขยายพันธุ์ได้ด้วยการเพาะเมล็ดและการปักชำ การปลูกการดูแลรักษาก็ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน

2.1.1.2 คุณค่าทางอาหาร

มะรุ้มเป็นพืชมีสรรพคุณ มีคุณค่าทางโภชนาการสูงสุด ที่รักษาทุกโรค ใบมะรุ้ม มีโปรตีนสูงกว่านมสด 2 เท่า การกินใบมะรุ้มตามชนบทของประเทศกำลังพัฒนาและประเทศโลกที่ 3 เป็นการเพิ่มโปรตีนคุณภาพสูงราคาถูกให้กับอาหารพื้นบ้าน นอกจากนี้ มะรุ้มมีธาตุอาหารปริมาณสูง เป็นพืชที่ช่วยป้องกันโรค คือ

วิตามินเอบำรุงสายตา มีมากกว่าแครอท 3 เท่า

วิตามินซีช่วยป้องกันหวัด 7 เท่าของส้ม

แคลเซียมบำรุงกระดูกเกิน 3 เท่าของนมสด

โพแทสเซียมบำรุงสมองและระบบประสาท 3 เท่าของกล้วย

ใยอาหารและพลังงานไม่สูงมากเหมาะกับผู้ที่ควบคุมน้ำหนักอีกด้วย

คนไทยทุกภาคนิยมนำฝักมะรุ้มไปทำแกงส้ม ผู้เฒ่าผู้แก่นิยมกินมะรุ้มในช่วง ต้นหนาวเพราะเป็นฤดูกาลของฝักมะรุ้ม หาได้ง่าย รสชาติอร่อยเพราะสดเต็มที่

ปัจจุบันชาวญี่ปุ่นผลิตชาใบมะรุ้มออกจำหน่าย ผลิตภัณฑ์ระบุว่าใช้แก้ไข ปัญหาโรคปากนกกระชอก หอบหืด อาการปวดหูและปวดศีรษะ ช่วยบำรุงสายตา ระบบทางเดิน อาหาร และช่วยระบายกาก

ประเทศอินเดีย หญิงตั้งครรภ์จะกินใบมะรุ้มเพื่อเสริมธาตุเหล็ก แต่ที่ประเทศ ฟิลิปปินส์และบอสวานาหญิงที่เลี้ยงลูกด้วยนมแม่จะกินแกงจืดใบมะรุ้ม (ภาษาฟิลิปปินส์ เรียก "มาลัง เก") เพื่อประสมนํ้านมและเพิ่มแคลเซียมให้กับนมแม่เหมือนกับคนไทย

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารเปรียบเทียบระหว่าง ผล (ฝัก) ใบสดและใบแห้งของมะรุม ปริมาณ 100 g

คุณค่าทางอาหาร	ผล (ฝัก)	ใบสด	ใบแห้ง
ความชื้น (%)	86.9	75.0	7.5
พลังงาน (calories)	26.0	92.0	205.0
โปรตีน (g)	2.5	6.7	27.1
ไขมัน (g)	0.1	1.7	2.3
คาร์โบไฮเดรต (g)	3.7	13.4	38.2
เส้นใย (g)	4.8	0.9	19.2
เกลือแร่ (g)	2.0	2.3	-
แคลเซียม (mg)	30.0	440.0	2003.0
แมกนีเซียม (mg)	24.0	24.0	368.0
ฟอสฟอรัส (mg)	110.0	70.0	204.0
โปแตสเซียม (mg)	259.0	259.0	1324.0
ทองแดง (mg)	3.1	1.1	0.6
เหล็ก (mg)	5.3	0.7	28.2
กรดออกซาลิก (mg)	10.0	101.0	0.0
กำมะถัน (mg)	137.0	137	870.0

2.1.1.3 สรรพคุณทางยาของมะรุม

ราก มีรสเผ็ด หวาน ขม แก้อาการบวม บำรุงธาตุไฟ

เปลือกจากลำต้น มีรสร้อน นำมาสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ผ้าห่อทำเป็นลูก ประคบหนึ่งให้ร้อนนำมาใช้ประคบ แก้อาการปวดหลัง ปวดตามข้อได้เป็นอย่างดี รับประทานเป็นยาขับลมในลำไส้ ทำให้ผายหรือเรอ คุณธาดูอ่อนๆ (ตัดต้นลมตีมาก) แพทย์ตามชนบท จะใช้เปลือกมะรุมสดๆ ตำบดพอกต่างๆ อดไว้ข้างแก้ม แล้วรับประทานสุราจะไม่มีรู้สึกเมา

กระพี้ แก้อาการนิ่วในปัสสาวะ

ใบ ช่วยแก้อาการท้องอืดท้องเฟ้อ แก้อาการเมา ใบบดมีฤทธิ์เป็นยาระบายอ่อนๆ มีแคลเซียม วิตามินซี แร่ธาตุและสารต้านอนุมูลอิสระสูงมาก นอกจากนี้ยังมีการค้นพบว่า ใบมะรุมมี

โปรตีนสูงกว่านมสด 2 เท่า การกินใบมะรุมตามชนบทของประเทศกำลังพัฒนา และประเทศโลกที่ 3 เป็นการเพิ่มโปรตีนคุณภาพสูงราคาถูกให้กับอาหารพื้นบ้าน

ดอก ช่วยบำรุงร่างกาย ขับปัสสาวะ ขับน้ำตา ใช้ต้มทำน้ำชาดื่มช่วยให้นอนหลับสบาย

ฝัก รสหวาน แก้ไข้หรือลดไข้

เมล็ด นำเมล็ดมะรุมมาสกัดน้ำมันสามารถใช้ทำอาหาร รักษาโรคปวดตามข้อ โรคเกาต์ รักษาโรครูมาติซึม และรักษาโรคผิวหนัง แก้ผิวแห้ง ใช้แทนยารักษาผิวให้ชุ่มชื้น รักษาโรคอันเกิดจากเชื้อรา

เนื้อในเมล็ดมะรุม ใช้แก้อาเจียนได้ดี การรับประทานเนื้อในเมล็ด เป็นประจำสามารถเพิ่มภูมิคุ้มกันให้ร่างกายได้

น้ำมันมะรุม ใช้หยอดจุมรักษาโรคภูมิแพ้ ไซนัสโรคทางเดินหายใจ ใช้หยอดหูและป้องกันพยาธิในหู รักษาอาการเยื่อหูอักเสบ รักษาโรคหูน้ำหนวก ใช้ทาผิวหนังรักษาโรคผิวหนังจากเชื้อราและเชื้อไวรัส รักษาโรคเรื้อรัง งูสวัด รักษาและบำรุงผิวพรรณให้ชุ่มชื้น ใช้ทารักษาแผลสด หูดตาปลา ใช้ถูนวดบรรเทาอาการบริเวณที่ปวดบวมตามข้อ รักษาโรคไขข้ออักเสบ เกาต์ รูมาติก เป็นต้น

กากเมล็ด กากที่เหลือจากการทำน้ำมัน สามารถนำมาใช้ในการกรอง หรือทำน้ำให้บริสุทธิ์เป็นน้ำดื่มได้ กากของเมล็ดมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นอย่างยิ่งและยังสามารถนำมาทำปุ๋ยต่อได้อีกด้วย

2.1.2 ถั่วเขียว

ชื่อวิทยาศาสตร์	Vigna radiate L
วงศ์	Leguminosae
ชื่อสามัญ	Mung bean, Mungo, Mongo bean, Green bean
ชื่อพื้นเมือง	ถั่วจิม ถั่วดำเม็ดเล็ก ถั่วทอง ถั่วมูม

“ถั่วเขียว” มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่บริเวณประเทศอินเดีย และคงเข้ามาบริเวณประเทศไทยนานนับพันปีแล้ว เพราะคนไทยในอดีตได้นำถั่วเขียวมาใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ มากมายโดยเฉพาะในตำรับขนมไทยดั้งเดิมชื่อถั่วเขียวนี่ เป็นคำเรียกของชาวไทยภาคกลาง หากเป็นภาคเหนือจะเรียกว่า

“ถั่วมูม” เชียงใหม่จะเรียกว่า “ถั่วจิม” นอกจากชื่อถั่วเขียวชาวไทยภาคกลางจะเรียก “ถั่วดำ” และ “ถั่วทอง” [6]



รูปที่ 2.2 ลักษณะเมล็ดถั่วเขียว [5]

2.1.2.1 ลักษณะต้นถั่วเขียว

ลำต้นของถั่วเขียวพันธุ์เพาะปลูกเป็นพวกตั้งตรง ไม่ใช่เป็นเถาเลื้อย ต้นเป็นพุ่ม มีความสูงจากระดับดินถึงยอดของลำต้น 50-120 cm ปกติมีการแตกกิ่งก้านมากมายคืออาจมีกิ่งตั้งแต่ 3 ถึง 15 กิ่ง มีอายุสั้น ทั้งนี้แล้วแต่ระยะปลูกและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ถ้าปลูกห่างก็มีจำนวนกิ่งมาก ลำต้นมีสีเขียวมีขนเป็นจำนวนมาก [7]

การปลูกถั่วเขียวปลูกได้ปีละหลายครั้ง โดยทั่วไปถั่วเขียวชอบอากาศร้อนและชื้น ทนทานต่อความแห้งแล้ง และยังทนทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืช จึงเป็นที่นิยมปลูกกันแทบทุกภาคของประเทศไทย แต่อย่างไรก็ดีแม้ว่าถั่วเขียวจะเป็นพืชไร่ที่ปลูกได้ง่าย แต่การที่จะให้ได้ผลผลิตต่อไร่สูง นั้น ก็จะต้องมีการปฏิบัติรักษาที่ถูกต้องตามสมควร [8]

2.1.2.2 คุณค่าทางอาหาร [9]

ถั่วเขียวมีโปรตีนสูงเมื่อเทียบกับถั่วเมล็ดแห้งชนิดอื่นๆ จึงนับว่าเป็นแหล่งอาหารโปรตีนได้ ถั่วเขียวเมื่อบริโภคพร้อมกับธัญพืชจะให้กรดอะมิโนที่จำเป็นครบตามความต้องการของร่างกาย โปรตีนจากถั่วเขียว มีราคาถูกเมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์ และการเลือกกินอาหารโปรตีนจากพืชแทนเนื้อสัตว์จะสามารถหลีกเลี่ยงการรับไขมันเกินความจำเป็นได้ นอกจากนี้ในถั่วเขียวยังให้วิตามินและแร่ธาตุบางชนิดที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น วิตามินบี 1 ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา วิตามินบี 2

ช่วย ป้องกันโรคปากนกกระจอก แคลเซียมและฟอสฟอรัสซึ่งจำเป็นต่อความแข็งแรงของกระดูกและธาตุเหล็กซึ่งจำเป็นสำหรับการสร้างเม็ดเลือดแดง นอกจากนี้ถั่วเขียวยังมีใยอาหารซึ่งช่วยควบคุมระดับไขมัน ในเลือดและลดความเสี่ยงต่อโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบแร่ธาตุและวิตามินบางชนิดของถั่วเขียว (ในส่วนของกินได้ 100 g)

คุณค่าทางอาหาร	ปริมาณสารอาหาร
ความชื้น (g)	10.20
พลังงาน (Kcal)	351.00
โปรตีน (g)	21.70
ไขมัน (g)	1.50
คาร์โบไฮเดรต (g)	62.70
ใยอาหาร (g)	27.10
แคลเซียม (mg)	76.00
ฟอสฟอรัส (mg)	353.00
เหล็ก (g)	7.40
วิตามินบี1 (mg)	0.80
วิตามินบี2 (mg)	0.20

2.1.2.3 สรรพคุณทางยาของถั่วเขียว [10]

ถั่วเขียว แก้วร้อนในกระหายน้ำ ขับปัสสาวะ รักษาฝี

เมล็ด นำมาต้มแล้วกินเป็นยาขับปัสสาวะ สำหรับคนที่เป็นโรคเหน็บชา ส่วนถั่วเขียวที่ดิบ หรือที่ต้มสุกแล้วใช้ตำพอก เป็นยารักษาภายนอกช่วยบ่มหนองให้ฝีสุก และยังใช้ในโรคอื่นๆ ได้เช่นการคลอดลูกยาก โรคท้องมาน และท้องร่วง

เปลือก (สีเขียวก) แก้วร้อนใน กระหายน้ำ ทำให้ตาสว่าง รักษาตาอักเสบ

ถั่วงอก แก้วพิษเหือด

2.1.3 มะขาม

ชื่อวิทยาศาสตร์ Tamarindus indica L.

วงศ์ Leguminosae Caesalpinioideae

ชื่อสามัญ	Tamarind, Indian date
ชื่อพื้นเมือง	ขาม (ภาคใต้) ตะลูป(ชาวบน-นครราชสีมา) ม่องโคล้ง (กะเหรี่ยง) กาญจนบุรี) อำเปยล (เขมร-สุรินทร์) หมากแกง (เงี้ยว- แม่ฮ่องสอน) ส้ามอเกล (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน)

“มะขาม” เป็นไม้เขตร้อน มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกาแถบประเทศซูดาน ต่อมา มีการนำเข้ามาในประเทศแถบเขตร้อนของเอเชีย และประเทศแถบละตินอเมริกา และในปัจจุบันมีมากในเม็กซิโก [12]



รูปที่ 2.3 ลักษณะฝักมะขาม [11]

2.1.3.1 ลักษณะทั่วไปมะขาม [13]

ไม้ต้นขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่แตกกิ่งก้านสาขามาก เปลือกต้นขรุขระและหนา สีน้ำตาลอ่อน ใบ เป็นใบประกอบ ใบเล็กออกตามกิ่งก้านใบเป็นคู่ ใบย่อยเป็นรูปขอบขนาน ปลายใบและโคนใบมน ดอก ออกเป็นช่อเล็กๆ ตามปลายกิ่ง ช่อหนึ่งมี 10-15 ดอก ดอกย่อยขนาดเล็ก กลีบดอกสีเหลืองและมีจุดประสีแดงอยู่กลางดอก ผล เป็นฝักยาว รูปร่างยาวหรือโค้ง ยาว 3-20 cm ฝักอ่อนมีเปลือกสีเขียวอมเทา สีน้ำตาลเกรียม เนื้อในติดกับเปลือก เมื่อแก่ฝักเปลี่ยนเป็นเปลือกแข็งกรอบหักง่าย สีน้ำตาล เนื้อในกลายเป็นสีน้ำตาลหุ้มเมล็ด เนื้อมีรสเปรี้ยว และหวาน

มะขามขึ้นได้กับดินทุกชนิด เจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนในดินเหนียวทนแล้งได้ดี เหมาะที่จะปลูกในฤดูฝน ใช้กิ่งพันธุ์ปลูกโดยการชำหลุมและใส่ปุ๋ยที่ก้นหลุมก่อน ดูแลรักษาเหมือนกับพืชโดยทั่วไป นิยมขยายพันธุ์โดยการทาบกิ่ง ติดตาหรือต่อกิ่ง เพราะได้ผลเร็วและไม่ทำให้กลายพันธุ์

2.1.3.2 คุณค่าทางอาหาร [14]

ยอดอ่อนและฝักอ่อนมีวิตามินเอ มาก มะขามเปียกรสเปรี้ยว ทำให้ชุ่มคอ ลดความร้อนของร่างกายได้ดี เนื้อในฝักมะขามที่แก่จัดเรียกว่า "มะขามเปียก" ประกอบด้วยกรดอินทรีย์หลายตัว เช่น กรดทาร์ทาริก กรดซิตริก เป็นต้น ทำให้ออกฤทธิ์ระบายและลดความร้อนของร่างกายลงได้ แพทย์ไทยเชื่อว่า รสเปรี้ยวนี้นี้จะก่อกำเสกให้ละลายได้ด้วย

ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางอาหารเปรียบเทียบระหว่าง ยอดอ่อนและฝักสดของมะขาม ปริมาณ 100 g [15]

คุณค่าทางอาหาร	ยอดอ่อน	ฝักสด
พลังงาน (Kcal)	55.0	70.0
โปรตีน (g)	3.6	2.3
ไขมัน (g)	0.3	0.2
คาร์โบไฮเดรต (g)	9.4	14.7
แคลเซียม (mg)	19.0	429.0
ฟอสฟอรัส (mg)	38.0	14.0
เหล็ก (mg)	1.0	3.0
วิตามินบี1 (mg)	-	0.08
วิตามินบี2 (mg)	0.23	0.34
ไนอาซีน (mg)	2.4	1.5
วิตามินซี (mg)	53.0	44.0
เบต้า-แคโรทีน (μg)	38.1	7.9
ใยอาหาร (g)	-	-

2.1.3.3 สรรพคุณทางยาของมะขาม [16]

ราก แก้ก้องร่วง สมานแผล รักษาเริม และงูสวัด

เปลือกต้น แก้ไข้ ตัวร้อน

แก่น กล่อมเสมหะ และโลหิต ขับโลหิต ขับเสมหะ รักษาฝีในมดลูก รักษาโรค
บุรุษ เป็นยาชักมดลูกให้เข้าอู่

ใบสด (มีกรดเล็กน้อย) เป็นยาถ่าย ยาระบาย ขับลมในลำไส้ แก้ไอ แก้บิด
รักษาหวัด ขับเสมหะ หยอดตา รักษาเยื่อตาอักเสบ แก้กามโรค ฟอกโลหิต ขับเหงื่อ ต้มผสมกับสมุนไพร
อื่นๆ อาบหลังคลอดช่วยให้สะอาดขึ้น

เนื้อหุ้มเมล็ด แก้อาการท้องผูก เป็นยาระบาย ยาถ่าย ขับเสมหะ แก้ไอ
กระหายน้ำ เป็นยาสวนล้างท้อง

ฝักดิบ ฟอกเลือด และลดความอ้วน เป็นยาระบายและลดอุณหภูมิในร่างกาย
บรรเทาอาการไข้

เมล็ดในสีขาว เป็นยาถ่ายพยาธิไส้เดือนตัวกลมในลำไส้ พยาธิเส้นด้าย

เปลือกเมล็ด แก้ก้องร่วง แก้บิดลมป่วง สมานแผลที่ปาก ที่คอ ที่ลิ้น และตาม
ร่างกาย รักษาแผลสด ถอนพิษและรักษาแผลที่ถูกไฟลวก รักษาแผลเบาหวาน

เนื้อในฝักแก่ (มะขามเปียก) รับประทานจี้มเกลื้อ แก้ไอ ขับเสมหะ

ดอกสด เป็นยาลดความดันโลหิตสูง

2.1.4 ข้าวโพด

ชื่อวิทยาศาสตร์ Zea mays L.

วงศ์ Poaceae (Gramineae – Grass Family)

ชื่อสามัญ Corn

ชื่อพื้นเมือง เป้าก้อ(ม้ง) แผละลี(ลัวะ) - ข้าวสาลี สาลี (ภาคเหนือ) โปด

(ภาคใต้) ป้อเคสะ (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน) ข้าวแซ่ (เงี้ยว-ฉาน-แม่ฮ่องสอน) เง็กบี้ เง็กจกซู (จีน)

“ข้าวโพด” เป็นพืชดั้งเดิมและเป็นอาหารหลักของชาวอินเดียนแดง ตลอดจนถึงคนใน
ทวีปอเมริกากลาง และอเมริกาใต้ มานานหลายพันปีแล้ว ข้าวโพดในสมัยโบราณ รับประทานไม่อร่อย
เหมือนในปัจจุบัน เพราะนอกจากจะมีรสจืดๆ คล้าย แป้งแล้ว ยังค่อนข้างจะเหนียว ไม่มีความหวาน
เหมือนข้าวโพดในปัจจุบัน เนื่องจากได้ผ่านการพัฒนาสายพันธุ์ให้ข้าวโพดมีความหวานมากขึ้น ซึ่ง

ปัจจุบันมีไม่น้อยกว่า 200 สายพันธุ์แล้ว ซึ่งในประเทศไทยได้มีการปลูกข้าวโพดกันมานานแล้ว คาดว่าน่าจะกว่า 100 ปี [18]



รูปที่ 2.4 ลักษณะฝักข้าวโพด [17]

2.1.4.1 ลักษณะทั่วไปข้าวโพด [19]

ข้าวโพดเป็นพืชพวกหญ้า มีลำต้นแข็งแรง และตั้งตรงคล้ายต้นอ้อย ความสูงของลำต้นแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ อาจมีความสูงตั้งแต่ 30 cm ไปจนถึง 6 m ลำต้นเป็นปล้องๆ อาจมีตั้งแต่ 8-20 ปล้อง ใบยาวเรียวกะทัดรัดกับต้น ฝักข้าวโพดจะเกิดตรงข้ออยู่ตรงส่วนกลางของลำต้น โดยมีเปลือกเป็นกลีบบางๆ สีเขียว มีหลายชั้นห่อหุ้มอยู่เปลือกชั้นนอกมีสีเขียวแก่กว่าชั้นใน ปลายฝักมีเส้นเล็กๆ สีเขียวอ่อนใสบางเหมือนเส้นผม เรียกว่าไหมข้าวโพด หรือ ฝอยข้าวโพด ข้าวโพดต้นหนึ่งอาจมีหลายฝักก็ได้ และเมล็ดข้าวโพดที่เรารับประทานมีหลายสี เช่น สีนวล สีเหลือง สีม่วง ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ โดยจะเกาะติดอยู่ตรงส่วนที่เป็นแกนกลางเรียกว่าซังข้าวโพด

2.1.4.2 คุณค่าทางอาหาร [20]

โดยจะประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต เบต้าแคโรทีน วิตามินซี แคลเซียม เส้นใยอาหาร ฟอสฟอรัส เป็นสารประกอบกับแคลเซียมในการสร้างกระดูกและฟัน ช่วยให้การหลั่งน้ำนมเป็นไปตามปกติ ช่วยสร้างเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ ร่วมกับธาตุอื่นรักษาสมดุลความเป็นกรด-ด่างในร่างกาย ถ้ากินข้าวโพดอ่อนเป็นประจำ จะช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือด ป้องกันเส้นเลือดแข็งตัว ช่วยย่อยอาหาร ลดอาการบวม น้ำ รักษาโรคไตอักเสบเรื้อรัง โรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง ปัสสาวะอักเสบเรื้อรัง และจุกอักเสบเรื้อรัง ช่วยบำรุงหัวใจ ทำให้เจริญอาหาร กระตุ้นให้กระเพาะและลำไส้ทำงานได้ดี

ตารางที่ 2.4 คุณค่าทางอาหารของข้าวโพด ปริมาณ 100 g [21]

คุณค่าทางอาหาร	ปริมาณสารอาหาร
พลังงาน (Kcal)	33.0
น้ำ (g)	91.8
โปรตีน (g)	2.3
ไขมัน (g)	0.3
คาร์โบไฮเดรต (g)	5.3
แคลเซียม (mg)	4.0
ฟอสฟอรัส (mg)	25.0
เหล็ก (mg)	0.5
เบต้า-แคโรทีน (μg)	12.0
ไทอะมิน (mg)	0.13
ไนอะซิน (mg)	0.4
วิตามินซี (mg)	23.0

2.1.4.3 สรรพคุณทางยาของข้าวโพด [22]

ไหมข้าวโพด หรือฝอยที่มีสีน้ำตาล ใช้นำมาทำน้ำมันหอมระเหย
 เมล็ดข้าวโพด ช่วยบำรุงหัวใจ ปอด ทำให้รับประทานอาหารได้มากขึ้น
 ต้น ราก และ ใบ นำมาตากจนแห้ง แล้วต้มน้ำดื่มรักษาโรคนี้
 ชั่งข้าวโพดนำมาต้ม น้ำที่ได้นำมาดื่มแก้บิด ท้องร่วง ขับปัสสาวะรักษาโรค
 ตานขโมยในเด็ก ข้าวโพดอ่อนมีใยอาหารสูง ที่จะช่วยในระบบการขับถ่ายทำงานเป็นปกติ

2.2 สมบัติของน้ำ [23]

2.2.1 ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่น หมายถึง สิ่งแขวนลอยที่กั้นทางเดินของแสงในน้ำ ความขุ่นของน้ำเกิดจากสิ่ง
 แขวนลอยนานาชนิดที่มีขนาดแตกต่างกันอาจเป็นพวกอินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร แพลงตอน และ
 สิ่งมีชีวิตเล็กๆ สิ่งเหล่านี้จะให้เกิดการกระจัดกระจาย (Scattered) และดูดซึม (Absorbed) ของ
 แสงแทนที่จะปล่อยให้แสงผ่านไปเป็นเส้นตรง สิ่งแขวนลอยที่เป็นความขุ่นในน้ำจะเป็นสิ่งใดขึ้นอยู่กับ
 การสัมผัสกับน้ำที่ไหลผ่าน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ความขุ่นเป็นลักษณะสมบัติเฉพาะของน้ำผิวดิน

น้ำใต้ดินมักไม่มีความขุ่น ความขุ่นสามารถสังเกตได้ง่าย น้ำขุ่นทำให้ไม่น่าใช้ จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นในการตัดสินใจว่า ผู้บริโภคต้องการใช้น้ำหรือไม่และยังเป็นอุปสรรคต่อการฆ่าเชื้อโรคในการผลิตน้ำประปา เพราะเชื้อโรคอาจแฝงตัวหลบซ่อนอยู่กับความขุ่นได้ นอกจากนี้ยังทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการกรองน้ำ

ความขุ่นของน้ำอาจวัดได้ 2 วิธี คือวัดปริมาณแสงที่ส่งทะลุความขุ่น (Turbidimetry) หรือวัดปริมาณแสงที่กระทบความขุ่นและสะท้อนออกมาในทิศทางตั้งฉากกับลำแสง (Nephelometry) ความขุ่นในน้ำอาจมีหน่วยเป็น NTU หรือ JTU ก็ได้ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้วัดความขุ่น NTU (Nephelometric Turbidity Unit) เป็นหน่วยความขุ่นที่ได้จากการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Nephelometer ส่วน JTU (Jackson Turbidity Unit) เป็นหน่วยความขุ่นที่ได้จากการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Jackson Turbidimeter ซึ่งวัดปริมาณแสงที่เหลือจากการส่องผ่านอนุภาคความขุ่น ไม่ว่าหน่วยวัดความขุ่นจะเป็นชนิดใดล้วนมีค่าเท่ากัน เนื่องจากได้มีการปรับเทียบให้มีค่าเท่ากับความขุ่นมาตรฐานซิลิกา 1 mg ในน้ำ 1 L ถือว่ามีความขุ่นเท่ากับ 1 หน่วยมาตรฐาน ในปัจจุบันนิยมใช้ Nephelometer มากกว่าเนื่องจากวัดความขุ่นได้ง่ายและสะดวก เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH ก็เป็นแบบ Nephelometer ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีเนเฟลิเมตริกเท่านั้น

2.2.2 ความกระด้าง

ความกระด้างของน้ำเป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะตกตะกอนสบู่ สาเหตุของความกระด้างของน้ำเกิดจากไอออนบวกของโลหะที่มีวาเลนซ์ 2+ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม สตรอนเทียม เหล็ก และแมงกานีส แต่เนื่องจากในน้ำธรรมชาติก็มีแคลเซียมและแมกนีเซียมมากกว่าโลหะอื่นๆ ดังนั้นต้นเหตุที่สำคัญของความกระด้างจึงหมายถึงแคลเซียมและแมกนีเซียมและถือเป็นค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ อย่างไรก็ตามไอออนโลหะตัวอื่นๆดังกล่าวข้างต้น ถ้ามีอยู่เป็นจำนวนมากก็ต้องนำมาคิดรวมด้วย ความกระด้างของน้ำนอกจากทำให้เกิดฟองสบู่ยากยังทำให้เกิดตะกอนในหม้อหรือกาน้ำ เนื่องด้วยไอออนของโลหะวาเลนซ์ 2+ ทำปฏิกิริยากับไอออนที่มีประจุลบบางตัวเกิดเป็นตะกอนขึ้นภายใต้สภาวะที่น้ำมีอุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังจะทำให้รสของน้ำผิดปกติและการต้มน้ำที่มีความกระด้างสูงอาจทำให้เกิดโรคนิ่วได้ ความกระด้างส่วนใหญ่ในน้ำมาจากชั้นของดินและหินที่น้ำนั้นไหลผ่านน้ำใต้ดินมักมีความกระด้างมากกว่าน้ำผิวดิน สำหรับน้ำประปาควรมีความกระด้าง 50 – 80 mg/l ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ถ้าน้ำมีความกระด้างน้อยเกินไปจะเกิดการกัดกร่อนโลหะได้

2.3 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation)

กระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation process) หรือกระบวนการรวมตะกอน เป็นกระบวนการสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ทั้งน้ำประปาที่มาจากน้ำผิวดิน และยังใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม กระบวนการรวมตะกอนจะมีบทบาทสำคัญมากในการกำจัดอนุภาคขนาดเล็กต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำ เช่น อนุภาคความขุ่น อนุภาคของสี หรืออื่นๆ สำหรับอนุภาคแขวนลอยในน้ำที่มีขนาดใหญ่ อาจแยกออกจากน้ำด้วยวิธีการตกตะกอนหรือวิธีการกรองหรือทั้งสองวิธีด้วยกัน แต่วิธีดังกล่าวมักใช้ไม่ได้ผลกับอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็ก เช่น อนุภาคคอลลอยด์ มีขนาดอยู่ในช่วง 10^{-6} มิลลิเมตร (1 นาโนเมตร) จนถึง 10^{-3} มิลลิเมตร (1 ไมครอน)

ดังนั้นในการทำให้อนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กตกตะกอนภายในเวลาอันรวดเร็ว จึงต้องใช้กระบวนการรวมตะกอนหรือกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยทั่วไปมักใช้สารเคมีในการทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้น ดังนั้นจึงเรียกรวมตะกอนทางเคมี (chemical coagulation) มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ ได้แก่ กำจัดความขุ่นอันเนื่องจากสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ กำจัดสี กำจัดแบคทีเรีย กำจัดสาหร่าย กำจัดสารซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดกลิ่น และรสในน้ำ กำจัดฟอสเฟต ซึ่งเป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตของสาหร่าย กำจัดสารอื่น ๆ เช่น โลหะหนัก เป็นต้น

กระบวนการโคแอกกูเลชัน เกิดขึ้นโดยการเติมสารโคแอกกูแลนต์ (coagulant) หรือสารสร้างตะกอนลงในน้ำ ซึ่งมีสารแขวนลอยที่เป็นสาเหตุของความขุ่นหรือสีในน้ำ สารเหล่านี้เป็นพวกคอลลอยด์ (colloid) ที่เกิดจากสารอนินทรีย์ (inorganic matter) หรือสารอินทรีย์ (organic matter) เพื่อทำให้เกิดการทำลายเสถียรภาพ (destabilized) ของคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคต่างๆ เข้ามาเกาะกัน เมื่อสารโคแอกกูแลนต์สัมผัสกับอนุภาคต่างๆ เหล่านั้นทำให้เกิดเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้น ในขั้นนี้การผสมอย่างรวดเร็วเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะทำให้เกิดการกระจายของสารเคมีได้อย่างทั่วถึง และเป็นโอกาสที่จะให้อนุภาคต่างๆ มาเจอกัน กระบวนการนี้เกิดขึ้นในระยะเวลาอันสั้น ผลที่ได้คือการเกิดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และเมื่อเกิดการสูญเสียเสถียรภาพของคอลลอยด์แล้ว จะเป็นขั้นตอนการรวมตัวของตะกอน (flocculation) หรือการเกิดตะกอน (floc) รวมตัวกันกลายเป็นกลุ่มซึ่งมีลักษณะคล้ายก้อนขนสัตว์เป็นปุย และพร้อมที่จะตกตะกอน การรวมตัวกันของตะกอนเกิดโดยการผสมเบาๆ และใช้เวลานาน เพื่อที่จะเปลี่ยนอนุภาคจากเล็กให้เป็นอนุภาคใหญ่ ซึ่งมองเห็นได้และตกตะกอนได้เร็ว

กระบวนการโคแอกกูเลชัน หรือกระบวนการรวมตะกอน เป็นการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ รวมตัวและจับกันเป็นฟล็อก มีหลักใหญ่ๆ 2 ประการคือ

(1) การทำลายเสถียรภาพ (destabilization) ของคอลลอยด์ ซึ่งกลไกการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน มี 4 รูปแบบ [24] ดังนี้

- การลดความหนาของชั้นกระจาย (diffuse layer) การเพิ่มจำนวนไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับ ประจุของอนุภาคจะทำให้จำนวนไอออนต่างประจุ (counter ion) ในชั้นกระจายเพิ่มขึ้น และทำให้ความหนาของชั้นกระจายลดลง เนื่องจากจำนวนประจุลบของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปได้ไกลเท่าเดิม ทำให้อนุภาคเข้าใกล้กัน จนเกาะกันได้ด้วยแรงดึงดูด

- การดูดติดผิวและทำลายประจุไฟฟ้า ของอนุภาคคอลลอยด์ (absorption/charge neutralization) สารเคมีบางชนิดแตกตัวให้ประจุตรงข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ มีความสามารถในการดูดติดกับอนุภาคคอลลอยด์ และทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จนทำให้เข้าใกล้กันแล้วรวมตัวกันเป็นตะกอนตกลงได้

- การใช้สารอินทรีย์เพิ่มน้ำหนัก และขนาดของอนุภาคคอลลอยด์ (sweep coagulation) เป็นการเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิด ซึ่งตกผลึกได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้ อนุภาคคอลลอยด์เป็นแกนกลาง ทำให้อนุภาคมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และอิทธิพลของประจุไฟฟ้าลดลง อนุภาคจึงสัมผัสและตกตะกอนได้

- การใช้สารพอลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (polymer bridging) พอลิเมอร์เป็น สารที่มีน้ำหนัก โมเลกุลสูง และมีอนุภาคต่อกันเป็นสายยาว เมื่อเติมลงไปในน้ำจะมีส่วนยึดเกาะกับ อนุภาคได้โดยกลไกต่างๆ และมีหน้าที่เชื่อมอนุภาคเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นตะกอนใหญ่ขึ้น

(2) การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ เคลื่อนที่มากระทบ หรือสัมผัสให้มากที่สุด (transport of colloidal particles) เมื่ออนุภาคถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว การสร้างโอกาสสัมผัส ระหว่างอนุภาค ย่อมเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าเดิม และเมื่ออนุภาคต่าง ๆ สัมผัสกันแล้ว ควรเกาะติดกันแน่น และหลุดน้อยที่สุด

2.4 สารเคมีที่ใช้ในการสร้างรวมตะกอนหรือ สารโคแอกกูแลนต์

สารเคมีที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีอะลูมิเนียมเป็น องค์ประกอบ และกลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ อะลูมิเนียม และเหล็กเป็นสารสร้างตะกอน ที่มี ประสิทธิภาพ ราคาไม่แพง เมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก และถูกควบคุมปฏิกิริยาด้วยพีเอชในระบบ หากพีเอชไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ทำให้กระบวนการ ตกตะกอนมีประสิทธิภาพต่ำ หรือไม่มีประสิทธิภาพเลย [24]

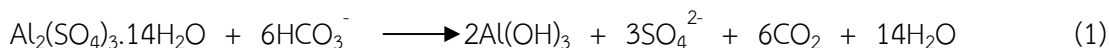
(1) สารสร้างตะกอนในกลุ่มอะลูมิเนียม

(1.1) อะลูมิเนียมซัลเฟต

อะลูมิเนียมซัลเฟต หรือสารส้มมีสูตรทางเคมี $Al_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ (โดยปกติทั่วไป*มีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18) มีขายทั้งในรูปสารละลาย และของแข็ง ในรูปของแข็งจะมีสีขาวขุ่น ลักษณะเป็นเกล็ด

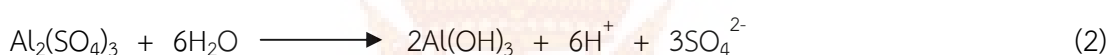
หรือผง มีชื่อเรียกทางการค้าว่าสารส้ม ละลายน้ำได้ดีถึง 71 ส่วนในน้ำ 100 ส่วนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส [25]

สารส้มเมื่อละลายน้ำจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่าง (HCO_3^-) ของน้ำ ดังสมการต่อไปนี้ [26]

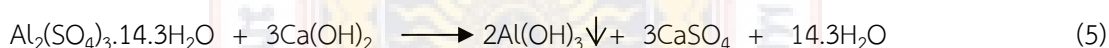
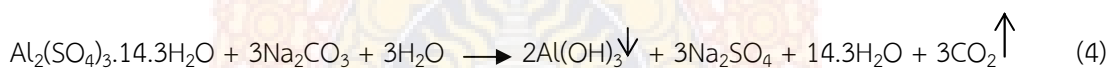
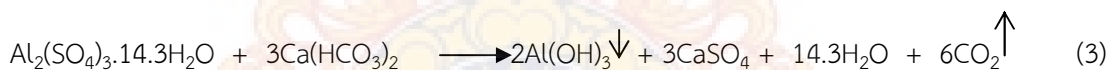


อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ไม่ละลายน้ำและตกตะกอนช้าๆ ระหว่างตกตะกอน จะดึงเอาสารแขวนลอยต่างๆ มาเกาะ ทำให้อนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น และตกตะกอนเร็วขึ้น

ค่าพีเอชมีความสำคัญมากในกระบวนการสร้างตะกอน เพราะจากปฏิกิริยาในสมการที่ 2 ประจุบวกของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะลดค่าพีเอชลงจนการเกิดของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ซึ่งเป็นตะกอนที่ต้องการเกิดได้ยาก ถ้าน้ำมีค่าความเป็นด่างต่ำ และมีการเติมสารส้มมาก ความเป็นด่างของน้ำจะถูกทำลายหมด และทำให้ค่าพีเอชของน้ำลดลงเป็นกรด



ดังนั้นในบางกรณีจำเป็นต้องเติมด่างลงไปพร้อมกับสารส้มเพื่อชดเชยค่าความเป็นด่างของน้ำ ที่ลดลงดังแสดงในสมการที่ 3 – 5 ปริมาณสารส้มที่ใช้จะแตกต่างกัน ขึ้นกับแหล่งน้ำและคุณภาพน้ำ



จากสมการพบว่าการใช้ปูนขาวร่วมกับสารส้มทำให้เกิดแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) ซึ่งเป็นความกระด้างถาวรในน้ำ ส่วนการใช้โซดาแอช (Na_2CO_3) ไม่ก่อให้เกิดความกระด้างเพิ่มขึ้นแต่มีราคาแพงกว่าปูนขาว และจากสมการ Hammer, M.J. (1996) สรุปว่า การเติมสารส้ม 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไปในน้ำจะทำปฏิกิริยาพอดีกับ

5.0 มิลลิกรัมต่อลิตรของความเป็นด่างในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

0.39 มิลลิกรัมต่อลิตรของปูนขาวร้อยละ 95 ในรูปแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

0.33 มิลลิกรัมต่อลิตรของปูนขาวร้อยละ 85 ในรูปแคลเซียมออกไซด์ (CaO)

0.53 มิลลิกรัมต่อลิตรของโซดาแอชในรูปโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

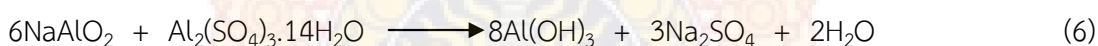
โดยปริมาณที่เหมาะสมของสารส้มอยู่ในช่วง 5 – 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนคือ 5.5 - 8.0

(1.2) พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ [27]

พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารพอลิเมอร์ เตรียมจากไดอะลูมิเนียมไตรออกไซด์ (Al_2O_3) ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) ที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้เกิดการรวมตัวเป็นอะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ (AlCl_3) หลังจากนั้นให้ทำปฏิกิริยากับด่างที่อุณหภูมิและความดันสูง เพื่อให้เกิดการรวมตัวเป็นอะลูมิเนียมพอลิเมอร์ มีสูตรทั่วไปคือ $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$ ละลายน้ำได้ดี พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์มีอำนาจในการสร้างตะกอนและรวมตะกอนสูง และตกตะกอนได้รวดเร็วกว่าสารส้ม ช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน 4.0-10.0

(1.3) โซเดียมอะลูมิเนต [27]

โซเดียมอะลูมิเนต มีสูตรทางเคมีคือ NaAlO_2 ละลายน้ำให้สารละลายที่มีความเป็นด่าง ในการใช้งานควรใช้ควบคู่กับสารส้ม ตกตะกอนได้ดีในช่วงพีเอชกว้าง เกิดฟล็อกที่มีเนื้อแน่น หนัก ไม่แตกสลายง่าย ทำให้ตกตะกอนได้เร็ว และกรองได้ดี การใช้สารส้มทำให้มีอะลูมิเนียมในน้ำมาก ซึ่งการเติมโซเดียมอะลูมิเนต และปรับพีเอชเป็น 6 จะตกตะกอนอะลูมิเนียมได้ ปฏิกิริยาโซเดียมอะลูมิเนตกับสารส้ม และคาร์บอนไดออกไซด์อิสระเป็นดังนี้



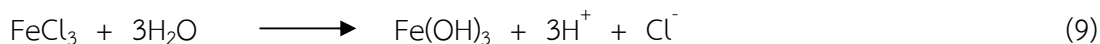
(2) สารสร้างตะกอนในกลุ่มเกลือของเหล็ก [27]

(2.1) เพอร์ริกคลอไรด์

เพอร์ริกคลอไรด์มีสูตรทางเคมีคือ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ หรือ $\text{FeCl}_3 \cdot \text{anhydrous}$ มีลักษณะเป็นผลึกสีน้ำตาลหรือเหลือง ละลายน้ำได้ดี มีขายในท้องตลาด 3 รูปแบบคือ ของแข็งที่ไม่มีน้ำ เป็นผลึกน้ำและในรูปของเหลว เติมน้ำดิบในรูปของสารละลาย มีฤทธิ์เป็นกรดและกัดกร่อน ปฏิกิริยาจะคล้ายกับอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) โดยเมื่อใส่ลงในน้ำที่มีความเป็นด่าง จะเกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 8



ในภาวะที่ไม่มีความเป็นด่างปฏิกิริยาจะเป็นไปตามสมการที่ 9)



เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)_3) มีลักษณะคล้ายกับอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al(OH)_3) คือไม่ละลายน้ำ เมื่อตกตะกอนจะตั้งเอาสารแขวนลอยต่างๆ ลงมาด้วย จากสมการที่ 8 จะเห็นได้ว่าต้องการความเป็นด่างในการทำปฏิกิริยา จึงต้องปรับพีเอชให้สูงขึ้นโดยการเติมปูนขาว โดยช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนอยู่ในช่วงที่พีเอชมากกว่า 8.5



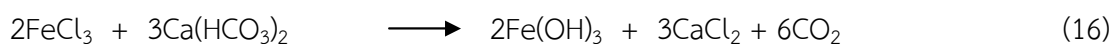
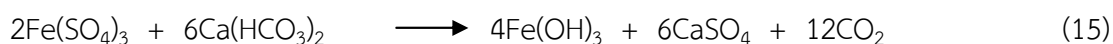
(2.2) เฟอร์รัสซัลเฟต

สูตรทางเคมีคือ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ มีลักษณะเป็นทั้งผง เม็ด หรือผลึก มีสีเขียวถึงน้ำตาลปนเหลือง ละลายน้ำได้ดี เมื่อเป็นสารละลายจะมีความเป็นกรด และกัดกร่อน เติมน้ำในรูปของแข็งหรือสารละลายก็ได้ เฟอร์รัสซัลเฟตเมื่อใส่ลงไปน้ำจะเกิดเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)_2) ซึ่งละลายน้ำได้ดี จึงต้องออกซิไดส์ เพื่อเปลี่ยนเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ด้วยการเติมอากาศ หรือคลอรีน



เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)_3) ที่เกิดขึ้นมีเนื้อแน่นและตกตะกอนได้เร็ว แต่ต้องควบคุมปริมาณปูนขาวอย่างถูกต้อง เพราะถ้าเติมปูนขาวมากเกินไปอาจเกิดการตกผลึกของหินปูนเกิดขึ้นในท่อส่งน้ำและจ่ายน้ำ เพราะปูนขาวทำปฏิกิริยากับสารไบคาร์บอเนตทำให้เกิดหินปูนซึ่งตกผลึกได้ เฟอร์รัสซัลเฟตจึงเหมาะกับน้ำตามธรรมชาติ ที่มีสารไบคาร์บอเนตพอเพียงโดยไม่ต้องเติมปูนขาว โดยมีช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนค่อนข้างกว้าง อยู่ในช่วง 4.8 - 11.0

การใช้เฟอร์รัสซัลเฟตร่วมกับคลอรีน ทำให้เกิดเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) และเฟอร์ริกซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) ตามสมการที่ 14



2.5 การใช้สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulation aid)

2.5.1 โพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ

โพลีเมอร์สามารถแบ่งได้อย่างกว้างๆ 2 ชนิด คือ

2.5.1.1 โพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีหลายชนิด เช่น เซลลูโลส(Cellulose) เจลาติน (Gelatin) และแป้ง (Starch)

2.5.2 โพลีเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ในปี ค.ศ.1979 ได้มีการสังเคราะห์โพลีเมอร์ขึ้นอย่างสมบูรณ์ และนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง Polyacrylamide ที่สร้างขึ้นจาก monomer ที่รวมกันเป็นสายโซ่ยาวจำนวนโมเลกุลจะประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลในปริมาณเป็นล้านหน่วยดังแสดงในรูป 2.5



รูปที่ 2.5 รูปร่างโพลีเมอร์ประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลในปริมาณล้านหน่วย

2.6 การทดลองจาร์เทสต์

จาร์เทสต์ เป็นวิธีที่ใช้มาแต่อดีตจนถึงปัจจุบันยังใช้กันอย่างกว้างขวาง จาร์เทสต์เป็นวิธีทดสอบอย่างง่ายโดยการทดลองในปิเกตอร์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับความเร็วรอบได้ส่วนมากมีใบพัดกวนน้ำ 6 ชุด ในการทดลองแต่ละครั้ง และเลือกชนิดของสารโคแอกกูแลนต์และกำหนดสถานะต่างๆได้แก่ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง ความเร็วรอบ ระยะเวลาในการกวน และระยะเวลาในการตกตะกอนแล้วจึงทดลองโดยการแปรเปลี่ยนปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ ส่วนระดับ pH อาจแปรเปลี่ยน หรือคงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดลอง จากการทดลองจะได้ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์และระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเกิดโคแอกกูแลนต์

2.7 แผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ (Latin square design, LSD)

2.7.1 เงื่อนไขในการใช้

แผนการทดลองแบบนี้ ใช้ในกรณีที่พบว่า มีสาเหตุที่ทำให้เกิดความผันแปรในหน่วยทดลองสองสาเหตุก่อนให้ทรีทเมนต์ หน่วยทดลองจะถูกจัดกลุ่มในสองทิศทาง (Two – directional grouping) ตามสาเหตุความผันแปร ซึ่งถูกเรียกว่า ความผันแปรในแถวนอน (Rows) และความผันแปรในแถวตั้ง (Columns)

เนื่องจากในแถวนอนและแถวตั้งจะต้องใส่ให้ครบทุกทรีทเมนต์ ดังนั้น ขนาดของแถวนอน (Row size) ขนาดของแถวตั้ง (Column size) และจำนวนทรีทเมนต์จะต้องเท่ากัน หรือกำหนดว่า

$$\text{จำนวนแถวนอน} = \text{จำนวนแถวตั้ง} = \text{จำนวนทรีทเมนต์}$$

2.7.2 วิธีการสุ่ม

การสุ่มทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลอง กระทำโดยมีเงื่อนไขว่า ในแต่ละแถวนอนและในแต่ละแถวตั้ง จะต้องใส่ครบทุกทรีทเมนต์ วิธีการสุ่มอาจทำได้ 2 วิธี ดังนี้

สุ่มผังลาตินสแควร์ผังใดผังหนึ่งมาใช้ จากผังลาตินสแควร์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในแต่ละขนาดของลาตินสแควร์ ดังนี้

กำหนดให้ A, B, C, เป็นทรีทเมนต์ ผังลาตินสแควร์ที่สร้างขึ้นโดยทำให้แถวนอนที่ 1 และแถวตั้งที่ 1 มีการจัดทรีทเมนต์เรียงลำดับตามตัวอักษร จะถูกเรียกว่า ผังลาตินสแควร์มาตรฐาน (standard latin square) ตัวอย่างเช่น

A	B
B	A

รูปที่ 2.6 ผังลาตินสแควร์มาตรฐานแบบ 2×2

A	B	C
B	C	A
C	A	B

รูปที่ 2.7 ผังลาตินสแควร์มาตรฐานแบบ 3×3

A	B	C	D
B	C	D	A
C	D	A	B
D	A	B	C

รูปที่ 2.8 ผังลาตินสแควร์มาตรฐานแบบ 4×4 แบบที่ 1

A	B	C	D
B	D	A	C
C	A	D	B
D	C	B	A

รูปที่ 2.9 ผังลาตินสแควร์มาตรฐานแบบ 4×4 แบบที่ 2

A	D	C	B
B	A	D	C
C	B	A	D
D	C	B	A

รูปที่ 2.10 ผังลาตินสแควร์มาตรฐานแบบ 4×4 แบบที่ 3

ถ้า $r \times r$ เป็นลาตินสแควร์ที่มีจำนวนแถวอนเท่ากับจำนวนแถวตั้ง เท่ากับ r (เท่ากับจำนวนทรีทเมนต์) จำนวนผังลาตินสแควร์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดต่อผังลาตินสแควร์มาตรฐานหนึ่งผังจะเท่ากับ $r! (r - 1)$

2.7.3 ใช้การสุมจากผังลาตินสแควร์มาตรฐาน โดยสุมผังลาตินสแควร์มาตรฐานตามขนาดที่ต้องการมาหนึ่งผัง จากนั้นจะจัดลำดับของแถวอนและแถวตั้งเสียใหม่โดยอาศัยการสุม

ตัวอย่างเช่น ใช้การทดลองแบบลาตินสแควร์ขนาด 4×4 สมมติสุมผังลาตินสแควร์มาตรฐานดังรูปที่ 2.11

		แถวตั้ง			
		1	2	3	4
แถวนอน	1	A	B	C	D
	2	B	C	D	A
	3	C	D	A	B
	4	D	A	B	C

รูปที่ 2.11 ฟังลาตินสแควร์มาตรฐานแบบ 4×4 โดยการสลับตัวอย่าง
จัดลำดับแถวนอนโดยสลับ สมมติได้ลำดับแถวนอนใหม่เป็น 3, 1, 2 และ 4 จะได้ฟังลาติน
สแควร์ดังรูปที่ 2.12

		แถวตั้ง			
		1	2	3	4
แถวนอน	3	A	B	C	D
	1	B	A	D	C
	2	C	D	A	B
	4	D	C	B	A

รูปที่ 2.12 ฟังลาตินสแควร์มาตรฐานแบบ 4×4 โดยการสลับแถวนอน
จัดลำดับแถวตั้งโดยสลับ สมมติได้ลำดับแถวตั้งใหม่เป็น 4, 3, 1 และ 2 จะได้ฟังลาตินสแควร์
ดังรูปที่ 2.13

		แถวตั้ง			
		4	3	1	2
แถวนอน	3	B	A	C	D
	1	D	C	A	B
	2	A	D	B	C
	4	C	B	D	A

รูปที่ 2.13 ฟังลาตินสแควร์มาตรฐานแบบ 4×4 โดยการสมมติแนวตั้ง

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation) เป็นวิธีการใช้สารเคมีช่วยในการรวมตะกอน ซึ่งเป็นกระบวนการที่รู้จักกัน และใช้อยู่ทั่วไปในการบำบัดน้ำและน้ำเสีย เป็นวิธีที่ปฏิบัติได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ [28] แต่เนื่องจากการใช้สารเคมีเป็นสารรวมตะกอน มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี และทำให้เกิดตะกอนของสารเคมี รวมถึงมีรายงานการวิจัยพบว่าการใช้สารส้มมีผลกระทบต่อสุขภาพ เป็นสาเหตุหนึ่งของการโรคสมองเสื่อม (Alzheimer's disease) [29] และนอกจากนี้พบว่าสารโคแอกกูแลนต์ที่ได้จากสารอินทรีย์สังเคราะห์จากอะครีลาไมด์ (Acrylamide) มีความเป็นพิษต่อระบบประสาทและเป็นสารก่อมะเร็ง [30] และจากการทบทวนเอกสาร มีรายงานพบว่าได้มีการใช้สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติในการปรับปรุงคุณภาพเพื่อใช้ในการบริโภคมาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยเฉพาะในแถบประเทศแอฟริกาและละติน อเมริกา โดยนำส่วนต่างๆ ของพืชตั้งแต่เมล็ด ใบ เปลือก ราก และผล มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยวัตถุประสงค์หลักของการใช้สารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ เพื่อทำให้น้ำใสสำหรับการบริโภค โดยสรุปชนิดของสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ ที่มีการใช้งานในพื้นที่ต่างๆ ได้ดังนี้ [31] ในประเทศเปรูใช้เมล็ดข้าวโพด (*Zea mays*) ประเทศอินเดียใช้เมล็ดของ *Strychnos potatorum* (Nirmali tree) ประเทศชิลีและเปรูใช้ยางของต้นตะบองเพชร (*Opuntia ficus indica*) ประเทศอินเดีย ชินีกัล และชูดานใช้เมล็ดมะรุม (*Moringa oleifera*) ประเทศในแถบอเมริกาใต้ใช้เปลือกของต้น *Schinopsis Quebracho* ประเทศโบลิเวียและเปรูใช้เมล็ดแห้งของถั่ว (*Vicia faba*) เมล็ดของลูกพีช (*Percica valgoris*) ประเทศอียิปต์และชูดานใช้ถั่วหลายชนิดมาเป็นสารโคแอกกูแลนต์ในการบำบัดน้ำเสีย

จากการทบทวนเอกสาร Folkard, G, et al. (1995) [32] พบว่าพืชที่นิยมและมีประสิทธิภาพดีในการเป็นสารโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ คือ มะรุม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Moringa oleifera* Lam. วงศ์ *Moringaceae* เป็นพืชในเขตร้อน เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางที่ปลูกไว้ในบริเวณบ้านไทยมาแต่โบราณ ต้นมะรุมพบได้ทุกภาคในประเทศไทย มะรุมเป็นพืชที่นำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ตั้งแต่เป็นผักพื้นบ้าน ใช้เป็นยาสมุนไพร ใช้สกัดเอาน้ำมันจากเมล็ด โดยในเมล็ดของมะรุมพบว่ามีน้ำมันเป็นองค์ประกอบร้อยละ 35 และมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 37 (Ndabigesere, 1995) และมีรายงานการวิจัยพบว่าเมล็ดมะรุมสามารถนำมาใช้เป็นสารโคแอกกูแลนต์ และช่วยกำจัดความขุ่นของน้ำได้ [33, 34, 35] ช่วยลดความกระด้างของน้ำ [36] ช่วยแก้ไข้ปัญหาเรื่องตะกอนเคมี [37] และไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ มะรุมที่พบในปัจจุบันมีทั้งหมด 14 สายพันธุ์ แต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการทำหน้าที่เป็นสารโคแอกกูแลนต์ที่ต่างกัน [35] จากการศึกษาส่วนของเมล็ดมะรุมที่ทำหน้าที่เป็นสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าเป็นส่วนของโปรตีนที่ละลายน้ำได้ มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ

13 KDa และมีค่าไอโซอิเล็กทริก (iso-electric point) ประมาณ 10-11 [34] และจากรายงานการวิจัยพบว่าการใช้เมล็ดมะรุมเป็นสารโคแอกกูแลนต์กำจัดความขุ่นในน้ำได้ถึงร้อยละ 80-99 [34, 36]

เบญญา โสรจจาภินันท์, 2536 [23] ได้ศึกษาถึงความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของผงแป้งเมล็ดมะขามซึ่งเป็นโพลีเมอร์ประจุลบ พบว่าผงแป้งเมล็ดมะขามไม่สามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ตามลำพังได้ดี เนื่องจากสามารถลดความขุ่นของน้ำได้เพียงร้อยละ 30-60 แต่สามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอตร่วมกับสารส้มได้ดี และพบว่าเมื่อน้ำดิบมีความขุ่น 100 NTU ขึ้นไป การใช้ผงแป้งเมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอต สามารถลดค่าความขุ่นที่เหลือให้ต่ำกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว ซึ่งได้ผลเช่นเดียวกับงานวิจัยที่ศึกษาพบว่า การใช้มะขามเป็นโคแอกกูแลนต์สามารถลดความขุ่นได้เพียงร้อยละ 60

Cohen, M. และคณะ, 1958 [38] ได้ทดสอบการใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นโคแอกกูแลนต์เอตโดยใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์กับน้ำขุ่น พบว่าโพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุลบนั้นแม้ว่าจะเป็นโคแอกกูแลนต์เอตที่ได้ผลดี แต่ก็ไม่ปรากฏว่าสามารถลดความขุ่นได้มากกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวได้ และปริมาณการเติมจะต้องเหมาะสมถ้าเติมในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้คุณภาพได้รับเสถียรภาพกลับคืนมาอีก การใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวกนอกจากสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอตแล้วยังสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ได้อีกด้วย ส่วนการใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีประจุนั้นจะปรากฏว่าได้ผลไม่ดีเท่าในกรณีที่มีประจุ

จิราพร สมนาวรรณ, 2533 [39] ได้ทำการศึกษาเพื่อคัดเลือกพืชชนิดต่างๆ ได้แก่ มะรุม กระเจี๊ยบแดง ถั่วแดง ถั่วลิสง และมะขาม มาทำการทดสอบความสามารถในการใช้เป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอตร่วมกับสารส้ม พบว่า การใช้เมล็ดพืชดังกล่าวสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ได้แต่ไม่สามารถผลิตน้ำใสให้ได้คุณภาพเท่าเทียมกับการใช้สารส้มได้ และเหมาะสำหรับใช้กับน้ำดิบที่มีความขุ่นมากกว่า 100 NTU สำหรับในการใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอตนั้น จะช่วยประหยัดการใช้สารส้มได้มากกว่าร้อยละ 50 เช่นเดียวกับการวิจัยที่ศึกษาพบว่าสามารถใช้เมล็ดพืชชนิดต่างๆ ได้แก่ มะรุม มะขาม ข้าวโพด และถั่วเขียว เป็นโคแอกกูแลนต์ได้แต่ไม่สามารถปรับสภาพน้ำให้ใสให้มีคุณภาพเทียบเท่าสารส้มได้

Jahn, 1988. [40] ได้ทำการทดลองใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ในการกำจัดความขุ่น พบว่ามะรุมสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ได้ และการใช้มะรุมที่พันธุ์แตกต่างกันก็จะให้ประสิทธิภาพที่ไม่เท่ากันตลอดจนปริมาณการเติมที่เหมาะสมก็แตกต่างกันด้วย ซึ่งประสิทธิภาพที่ไม่เท่ากันของ

มละรุมในแต่ละพันธุ์อาจมีสาเหตุมาจาก อัตราส่วนที่แตกต่างกันระหว่างส่วนที่เป็นโคแอกกุลแลนด์และ ส่วนประกอบอื่นของเนื้อเมล็ด ธรรมชาติทางเคมีที่แตกต่างกันของโคแอกกุลแลนด์ และความยากง่าย ของปฏิกิริยาระหว่างโคแอกกุลแลนด์และสารแขวนลอยด้วย

Robinson, C.N. Jr., 1974 [41] ได้ทำการทดสอบการใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นโคแอกกุลแลนด์ กับน้ำที่มีความขุ่นสูง (ความขุ่นสูงสุดประมาณ 500 NTU) โดยใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวก, ประจุลบและไม่มีประจุสามารถให้ผลดีเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม แต่โพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุ ลบไม่สามารถลดความขุ่นให้ได้ตามมาตรฐานของน้ำหลังการตกตะกอนได้ ปริมาณการเติมโพลีอิเล็กโทรไลต์ประจุบวกจะมีค่า 1-4 mg/L

ตัวอย่างการใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นโคแอกกุลแลนด์ที่ได้ผลดี มักพบว่าเป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์ ประจุลบ สาเหตุอาจเป็นเพราะว่าอนุภาคแขวนลอยที่เกิดจากการใช้สารประกอบของโลหะส่วนใหญ่จะมีประจุบวก มีข้อที่น่าสังเกตว่าการใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นโคแอกกุลแลนด์ชนิดนั้น ไม่จำเป็นว่าจะลด ปริมาณการใช้สารประกอบโลหะ เพราะจุดมุ่งหมายในการเติมเป็นการช่วยในการรวมตะกอนไม่ใช่เป็น การทำลายเสถียรภาพ อย่างไรก็ตามการใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์จะช่วยเพิ่มความสามารถในการ ตกตะกอน การกรอง และการลดปริมาณสลัดจ์ ในกรณีว่ามีรายงานการใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ โคแอกกุลแลนด์เอ็ด สามารถลดปริมาณการใช้สารประกอบของโลหะได้นั้น สาเหตุน่าจะมาจากการใช้ โพลีอิเล็กโทรไลต์สามารถลดเวลาในการตกตะกอนได้มากกว่าการทำลายเสถียรภาพ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึง อุปกรณ์ วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ ขั้นตอนการทดลอง

3.1 อุปกรณ์

- 3.1.1 ปีกเกอร์ขนาด 100, 500 ml
- 3.1.2 ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml
- 3.1.3 กระบอกตวงขนาด 10, 25 ml
- 3.1.4 หลอดหยด
- 3.1.5 ขวดสีชาขนาด 500, 250 ml
- 3.1.6 ขวดฟีนอล 500 ml
- 3.1.7 ปีเปตขนาด 5, 25 ml
- 3.1.8 แท่งแก้วคนสาร
- 3.1.9 กรวยแก้ว
- 3.1.10 ผ้าขาวบาง
- 3.1.11 ขวดน้ำกลั่น
- 3.1.12 ซ้อนตักสาร
- 3.1.13 จุกยาง
- 3.1.14 เครื่องบด ยี่ห้อ Hua Kag รุ่น HK-04a
- 3.1.15 เครื่องปั่น ยี่ห้อ Moulinex
- 3.1.16 บิวเรต
- 3.1.17 เครื่องคัดขนาดมาตรฐาน

3.2 วัตถุดิบ

- 3.2.1 เมล็ดมะรุม
- 3.2.2 เมล็ดมะขาม
- 3.2.3 เมล็ดข้าวโพด
- 3.2.4 เมล็ดถั่วเขียว

3.3 เครื่องมือ

- 3.3.1 เครื่องคัดขนาดมาตรฐาน ยี่ห้อ Retseh รุ่น AS200 basic
- 3.3.2 เครื่อง จาร์เทส ยี่ห้อ Flocculator รุ่น SWI
- 3.3.3 เครื่องวัดความขุ่น (Turbiditymeter) ยี่ห้อ Eutech รุ่น TN-100

3.4 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

3.4.1 เตรียมสารสกัดจากเมล็ดพืช

นำเมล็ดพืช 4 ชนิด (มะรุม มะขาม ข้าวโพด ถั่วเขียว) มาอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110°C เวลา 8 hr บดเมล็ดพืชแห้งให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบด คัดขนาดด้วยเครื่องคัดขนาดมาตรฐาน 40 mesh เตรียมสารสกัดจากเมล็ดพืชที่ผ่านการร่อน โดยชั่งผงเมล็ดพืชแห้ง 25 g ผสมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 mole/L แล้วปั่นเป็นเวลา 1 min กรองด้วยผ้าขาวบาง หลังจากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไปกรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 1

3.4.2 เตรียมน้ำผิวดินสังเคราะห์

น้ำดิบจากธรรมชาติมีสมบัติไม่คงที่ ขึ้นกับแหล่งน้ำและฤดูกาล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำดิบที่สังเคราะห์ขึ้นมา เพื่อให้ปริมาณของสารที่ผลต่อความกระด้างและความขุ่นในน้ำดิบมีค่าคงที่

1) การเตรียมน้ำดิบที่มีความกระด้างต่างๆ 4 ค่ามีวิธีดังนี้

ชั่งแคลเซียมคลอไรด์ 0.304 g ผสมกับ แมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต 0.304 g ต่อน้ำกลั่น 1 L สารละลายที่ได้มีความกระด้าง 342 mg/L ใช้เป็นสารละลายเผื่อใช้ (stock solution) เจือจางน้ำดิบให้มีความกระด้างต่างๆ 4 ค่าจากสารละลายเผื่อใช้

2) การเตรียมน้ำดิบที่มีความขุ่นต่างๆ 4 ค่า

เตรียมสารละลายความขุ่นเพื่อใช้ 4,000 NTU โดยนำ ไฮดรารซีน ซัลเฟต ($\text{N}_2\text{H}_4\text{H}_2\text{SO}_4$) 2.5 g ต่อน้ำกลั่น 200 ml ผสมกับ เฮกซะเมทิลีน เทตระมีน ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$) 25 g ต่อน้ำกลั่น 100 ml แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 ml เก็บในอุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 48 hr เพื่อใช้ในการทดลองแบบลาตินสแควร์

3.5 การหาภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอนด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ

การหาภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอนด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 เป็นการทดลองหาภาวะในการรวมตะกอนด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติแบบหยาบ ตอนที่ 2 เป็นการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอนด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติแบบละเอียด

3.5.1 ทดลองหาภาวะในการรวมตะกอนด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติแบบหยาบ

ทดลองศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการใช้สารละลายผงแป้งจากเมล็ดพืชเป็นสารโคแอกกูแลนต์ ในการบำบัดน้ำดิบสังเคราะห์ โดยการออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์ซึ่งศึกษาผลของตัวแปร 3 ตัว คือ ชนิดของเมล็ดพืช ความกระด้างและความขุ่น มีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 3.1 ภาวะในการบำบัดน้ำดิบแบบจาร์เทสต์โดยการออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์

ความกระด้าง (mg/L)	ชนิดของเมล็ดพืช			
	ความขุ่น (NTU)			
	ความขุ่นค่าที่ 1	ความขุ่นค่าที่ 2	ความขุ่นค่าที่ 3	ความขุ่นค่าที่ 4
ความกระด้างค่าที่ 1	มะรุม	มะขาม	ข้าวโพด	ถั่วเขียว
ความกระด้างค่าที่ 2	ถั่วเขียว	มะรุม	มะขาม	ข้าวโพด
ความกระด้างค่าที่ 3	ข้าวโพด	ถั่วเขียว	มะรุม	มะขาม
ความกระด้างค่าที่ 4	มะขาม	ข้าวโพด	ถั่วเขียว	มะรุม

ทดลองหาภาวะในการรวมตะกอนด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติแบบหยาบโดยการทำการจาร์เทสต์ โดยใช้ปริมาณของสารสกัดจากเมล็ดพืชที่เตรียมจากข้อ (1) น้ำดิบสังเคราะห์ที่เตรียมจากข้อ (2) ในปริมาณต่างๆ โดยปรับพีเอชของน้ำดิบด้วย NaOH 0.1 N เป็นพีเอช 9 [42] ยกตัวอย่างการทดลองภาวะที่ 1 ใช้เมล็ดมะรุม น้ำดิบที่มีความกระด้างค่าที่ 1 และความขุ่นค่าที่ 1 มีวิธีทำดังนี้ เติมสารสกัดจากเมล็ดมะรุม 1.0 มิลลิลิตรต่อน้ำดิบ 1 ลิตร ลงในอุปกรณ์จาร์เทสต์ที่บรรจุน้ำดิบที่มีความกระด้างค่าที่ 1 และความขุ่นค่าที่ 1 กวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที แล้วลดความเร็วลงเป็น 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ค่าความกระด้างและค่าความขุ่น ใช้วิธีตาม American Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 20th.ed. 1998. [43] และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ ด้วยวิธีทางสถิติ

สำหรับการทดลองที่ภาวะอื่น ทำการทดลองเหมือนกัน แต่เปลี่ยนชนิดของเมล็ดพืช น้ำดิบที่มีค่าความกระด้างและความขุ่น ดังตารางที่ 1

3.5.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอนด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติแบบละเอียด

ทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยนำน้ำดิบสังเคราะห์ที่มีความกระด้างและความขุ่นเหมาะสมกับการถูกสารสกัดจากเมล็ดพืชที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจากข้อ 1 มาปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับสารสร้างตะกอนด้วย H_2SO_4 0.1 N หรือ NaOH 0.1 N และค่าข้างเคียงอีก 5 ค่า แล้วจึงทดสอบด้วยเครื่องจาร์เทสต์ จากนั้นจึงนำน้ำไปวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ค่าความกระด้างและค่าความขุ่น

3.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์ ของสารละลายผงแป้งจากเมล็ดพืช กับสารส้ม

ทดลองบำบัดน้ำดิบสังเคราะห์ด้วยสารส้ม ด้วยเครื่องจาร์เทสต์ จากนั้นจึงนำน้ำไปวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ค่าความกระด้างและค่าความขุ่น นำข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของสารละลายผงแป้งจากเมล็ดพืช

ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับสภาพน้ำผิวดินสังเคราะห์ของเมล็ดพืช โดยศึกษาการลดลงของความขุ่นและความกระด้าง มีวิธีการทดลองคือ

3.6.1 ศึกษาการลดลงของความขุ่น

1) ศึกษาประสิทธิภาพการลดความขุ่น ด้วยน้ำพีช

1.1) เตรียมน้ำผิวดินสังเคราะห์ความขุ่น 62.5, 125, 250 และ 500 NTU

1.2) เตรียมสารสกัดจากเมล็ดพีช

1.3) นำสารสกัดจากเมล็ดพีชข้อ 1.2) 2, 5, 15, และ 17 ml ตามลำดับ ใส่ในน้ำผิวดินสังเคราะห์ข้อ 1.1) 250 ml แล้วนำไปปรับสภาพด้วยเครื่องจาร์เทส โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

1.4) นำน้ำผิวดินสังเคราะห์ส่วนใสไปวิเคราะห์ความขุ่นด้วยเครื่อง Turbidity meter

2) ศึกษาประสิทธิภาพการลดความขุ่น ด้วยสารส้ม

2.1) เตรียมน้ำผิวดินสังเคราะห์ความขุ่น 62.5, 125, 250 และ 500 NTU

2.2) เตรียมสารละลายสารส้มโดยชั่งสารส้ม 10 g ต่อน้ำกลั่น 1 L

2.3) นำสารละลายสารส้มข้อ 2.2) 1, 0.5, 2.5 และ 3 ml ตามลำดับ ใส่ในน้ำผิวดินสังเคราะห์ข้อ 2.1) 250 ml แล้วนำไปปรับสภาพด้วยเครื่องจาร์เทส โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2.4) นำน้ำผิวดินสังเคราะห์ส่วนใสไปวิเคราะห์ความขุ่นด้วยเครื่อง Turbidity meter

3.6.2 ศึกษาการลดลงของความกระด้าง

1) ศึกษาประสิทธิภาพการลดความกระด้าง ด้วยน้ำพีช

1.1) เตรียมน้ำผิวดินสังเคราะห์ความกระด้าง 75, 150, 300 และ 600 mg/L

1.2) เตรียมสารสกัดจากเมล็ดพีช

1.3) นำน้ำพีชข้อ 1.2) 2, 5, 15, และ 17 ml ตามลำดับ ใส่ในน้ำผิวดินสังเคราะห์ข้อ 1.1) 250 ml แล้วนำไปปรับสภาพด้วยเครื่องจาร์เทส โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

1.4) นำน้ำผิวดินสังเคราะห์ส่วนใสไปวิเคราะห์ความกระด้างโดยวิธี American Standard Method for the Examination of water and waste water

2) ศึกษาประสิทธิภาพการลดความกระด้าง ด้วยสารส้ม

2.1) เตรียมน้ำผิวดินสังเคราะห์ความกระด้าง 75, 150, 300 และ 600 mg/L

2.2) เตรียมสารละลายสารส้มโดยชั่งสารส้ม 10 g ต่อน้ำกลั่น 1 L

2.3) นำสารสกัดจากเมล็ดพีชข้อ 2.2) 1, 0.5, 2.5 และ 3 ml ตามลำดับ ใส่ในน้ำผิวดินสังเคราะห์ข้อ 2.1) 250 ml แล้วนำไปปรับสภาพด้วยเครื่องจาร์เทส โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2.4) นำน้ำผิวดินส่งเคราะห์ส่วนใสไปวิเคราะห์ความกระด้างโดยวิธี American Standard Method for the Examination of water and waste water

3.7 ประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดพีช เป็นสารโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอด เปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม

ประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดพีชเป็นสารโคแอกกูแลนต์เปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม
จากราคาวัสดุและค่าไฟฟ้าไม่รวมค่าแรงและการลงทุน



บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

บทนี้จะกล่าวถึง คือ ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดความชื้น และ ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดความกระด้าง โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองเป็นแบบตารางลาตินสแควร์ ผลการคำนวณทางสถิติ อิทธิพลของความชื้น อิทธิพลความกระด้าง อิทธิพลของตัวแปรชนิดพืช

4.1 ผลจากการเตรียมวัตถุดิบ

ผลจากการอบเมล็ดมะรุม มะขาม ข้าวโพด และถั่วเขียว ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 8 hr แล้วบดด้วยเครื่องบดยี่ห้อ Hua Kag แล้วคัดขนาดด้วยเครื่องคัดขนาดมาตรฐาน ยี่ห้อ Rettseh ขนาด 0.4 mm.



รูปที่ 4.1 ผงเมล็ดพืชที่ผ่านการคัดขนาด ก) ผงมะรุม ข) ผงมะขาม ค) ผงข้าวโพด ง) ผงถั่วเขียว

หลังจากคัดขนาดแล้วผงเมล็ดพืชจะมีขนาดตั้งแต่ 0.4 mm ลงไป ลักษณะทางกายภาพเป็นผงแป้ง ผงมะรุมสีเหลืองอ่อน ผงมะขามสีน้ำตาลแก่ ผงข้าวโพดสีเหลือง ผงถั่วเขียวสีเขียวอ่อน

4.2 ผลจากการเตรียมสารสกัดจากเมล็ดพืช

เตรียมสารสกัดจากเมล็ดพืชที่ผ่านการร่อน โดยชั่งผงเมล็ดพืชแห้ง 25 g ผสมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 mole/L แล้วปั่นเป็นเวลา 1 min กรองด้วยผ้าขาวบาง



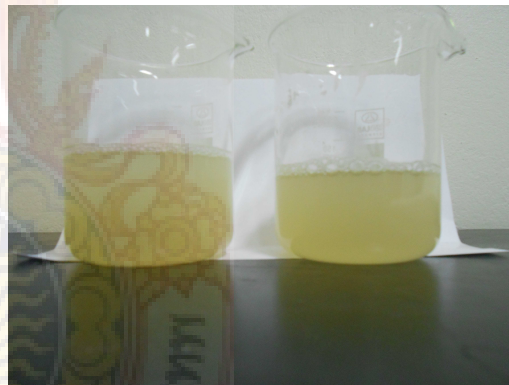
ก) สารสกัดผงมะรุุม



ข) สารสกัดผงมะขาม



ค) สารสกัดผงข้าวโพด



ง) สารสกัดผงถั่วเขียว

รูปที่ 4.2 สารสกัดเมล็ดก่อนกรองและหลังกรอง

ก) สารสกัดผงมะรุุม ข) สารสกัดผงมะขาม ค) สารสกัดผงข้าวโพด ง) สารสกัดผงถั่วเขียว

จากรูปที่ 4.2 สารสกัดจากเมล็ดพืชที่ผ่านการกรองด้วยผ้าขาวบางยังขุ่นอยู่ จึงกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ได้สารละลายใสขึ้นดังรูป ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดผลกระทบจากความขุ่นเริ่มต้นในการศึกษาการลดลงของความขุ่น

4.3 การหาภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอนด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติ

4.3.1 ทดลองหาภาวะในการรวมตะกอนด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติแบบหยาบ

ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดความขุ่น และความกระด้าง โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองเป็นแบบลาตินสแควร์ ทำการทดลองจาร์เทส โดยกำหนดให้ความขุ่นเท่ากับ 62.5, 125, 250 และ 500 NTU โดยกำหนดให้ความกระด้างเท่ากับ 75, 150, 300 และ 600 mg/l โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองเป็นแบบลาตินสแควร์ ดังตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการลดความขุ่น (%)

ความกระด้าง เริ่มต้น (mg/l)	ความขุ่นเริ่มต้น (NTU)			
	500	250	125	62.5
600	85.76	94.25	65.37	36.82
300	85.34	61.33	88.49	44.35
150	89.07	78.90	43.80	83.63
75	93.61	80.49	55.74	-171.24

จากตารางที่ 4.1 พบว่าที่การทดลอง A2 ที่มีความขุ่น 250 NTU (600 mg/L) เป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นสูงสุด คือ 94.25 เพราะในเมล็ดมะขามมีองค์ประกอบที่เป็นโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต เป็นสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ธรรมชาติที่มีโมเลกุลสูง จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นดี

หมายเหตุ -171.24 หมายถึง มีความขุ่นสูงขึ้นในการทดลอง เพราะสารสกัดจากเมล็ดมี

องค์ประกอบขององค์ประกอบที่เป็นโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต รวมอยู่ด้วยซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ทำให้เกิดความขุ่นในน้ำ

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการลดความกระด้าง (%)

ความกระด้าง เริ่มต้น (mg/l)	ความขุ่นเริ่มต้น(NTU)			
	500	250	125	62.5
600	27.6	57.32	10.91	23.43
300	29.09	68.15	60.51	27.0
150	22.96	49.33	28.78	68.88
75	77.82	46.0	56.92	61.11

จากตารางที่ 4.2 พบว่าที่การทดลอง A13 ที่ความขุ่น 500 NTU (75 mg/L) เป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพในการลดความกระด้างสูงสุดคือ 77.82%

4.3.1 ผลการคำนวณทางสถิติ

เมื่อนำน้ำผิวดินสังเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมด มาทำการตรวจสอบหาค่าประสิทธิภาพการลดความขุ่นและค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้างของน้ำ และนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ และทำการเปรียบเทียบหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการปรับสภาพน้ำ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ดังแสดงในตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลรวมและค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองของค่าประสิทธิภาพการลดความขุ่น

	สารสกัดจากเมล็ดพืช			
	มะรุม	มะขาม	ข้าวโพด	ถั่วเขียว
ผลรวม = $\sum X_p$	19.65	359.98	279.28	256.80
ผลรวมเฉลี่ย = $\bar{X}_p$	4.91	89.99	69.82	64.20

จากตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดมีค่ามากสุดในการลดความขุ่น สารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดจึงควรที่จะนำมาเปรียบเทียบกับ การปรับสภาพน้ำด้วยสารส้ม

ตารางที่ 4.4 ผลรวมและค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองของค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้าง

	สารสกัดจากเมล็ดพืช			
	มะรุม	มะขาม	ข้าวโพด	ถั่วเขียว
ผลรวม = $\sum X_p$	185.64	264.53	106.87	158.77
ผลรวมเฉลี่ย = $\frac{\sum X_p}{n}$	46.41	66.13	26.72	39.69

จากตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดมีค่ามากสุดในการลดความกระด้าง สารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดจึงนำมาเปรียบเทียบกับสารสกัดจากเมล็ดพืชอื่น

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์หาความแปรปรวนของค่าประสิทธิภาพการลดความขุ่น

Sort of variance (SOV)	F	F _{0.1}
ความกระด้างเริ่มต้น	1.25	3.29
ความขุ่นเริ่มต้น	2.54	3.29
สารสกัดเมล็ดพืช	2.07	3.29

จากตารางที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบค่า F ซึ่งได้จากการคำนวณ (รายละเอียดการคำนวณได้จากภาคผนวก ค) กับค่า F_{0.1} ซึ่งได้จากการเปิดตาราง ณ ความมั่นใจที่ 90 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า F ความขุ่นเริ่มต้น สารสกัดเมล็ดพืชมีค่าน้อยกว่าค่า F_{0.1} แสดงว่าค่าประสิทธิภาพการลดความขุ่นเนื่องจากความกระด้างเริ่มต้น ความขุ่นเริ่มต้น สารสกัดเมล็ดพืช ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่าความกระด้างเริ่มต้น ความขุ่นเริ่มต้น สารสกัดเมล็ดพืชให้ผลต่อประสิทธิภาพการลดความขุ่นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์หาความแปรปรวนของค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้าง

Sort of variance (SOV)	F	F _{0.1}
ความกระด้างเริ่มต้น	8.92*	3.29
ความขุ่นเริ่มต้น	3.15	3.29
สารสกัดเมล็ดพืช	15.16*	3.29

จากตารางที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบค่า F ซึ่งได้จากการคำนวณ (รายละเอียดการคำนวณดูได้จากภาคผนวก ค) กับค่า $F_{0.1}$ ซึ่งได้จากการเปิดตาราง ณ ความมั่นใจที่ 90 เปอร์เซนต์ พบว่าค่า F ความกระด้างเริ่มต้น สารสกัดเมล็ดพืชมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.1}$ แสดงว่าค่าความแตกต่างประสิทธิภาพการลดความกระด้างเนื่องจากความกระด้างเริ่มต้น สารสกัดเมล็ดพืช อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความชุ่มเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าค่า $F_{0.1}$ แสดงว่าค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้างเนื่องจากความชุ่มเริ่มต้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่าความกระด้างเริ่มต้น สารสกัดเมล็ดพืชไม่ให้เกิดต่อประสิทธิภาพการลดความกระด้างที่แตกต่างมาก ดังนั้นการวิเคราะห์ขั้นต่อไปจะใช้การเปรียบเทียบแบบ Orthogonal comparison (รายละเอียดการคำนวณดูในภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4.7 ผลการคำนวณค่าความแปรปรวนของชนิดเมล็ดพืชเพื่อเปรียบเทียบระหว่างค่า

ประสิทธิภาพการลดความกระด้าง

Sort of variance (SOV)	F	$F_{0.1}$
มะรุม vs มะขาม	0.36	3.18
มะรุม vs ข้าวโพด	3.09	3.18
มะรุม vs ถั่วเขียว	3.10	3.18
มะขาม vs ข้าวโพด	1.34	3.18
มะขาม vs ถั่วเขียว	5.58*	3.18
ข้าวโพด vs ถั่วเขียว	12.39*	3.18

จากตารางที่ 4.7 เมื่อเปรียบเทียบค่า F ซึ่งได้จากการคำนวณ (รายละเอียดการคำนวณดูในภาคผนวก ข) กับค่า $F_{0.1}$ ซึ่งได้จากการเปิดตาราง ณ ความมั่นใจที่ 90 เปอร์เซนต์ พบว่าค่า F ของมะขาม vs ถั่วเขียว และ ข้าวโพด vs ถั่วเขียว มีค่ามากกว่า $F_{0.1}$ แสดงว่าสารสกัดจากเมล็ดพืชสามชนิดนี้ มีผลต่อการทดลองที่ทำให้ประสิทธิภาพการลดความกระด้างที่แตกต่างกันมาก

เมื่อเปรียบเทียบสารสกัดจากเมล็ดพืชสามชนิด ซึ่งแสดงในตารางการเปรียบเทียบแบบ Orthogonal comparison (รายละเอียดการคำนวณดูในภาคผนวก ข.3-1)

สารสกัดเมล็ดมะขาม มีค่าประสิทธิภาพการลดลงความความกระด้างเฉลี่ยมากกว่ากว่าสารสกัดถั่วเขียว ดังนั้นสารสกัดเมล็ดมะขาม ให้ผลการทดลองประสิทธิภาพลดความกระด้างได้ดีกว่าสารสกัดถั่วเขียว

สารสกัดถั่วเขียวมีค่าประสิทธิภาพการลดลงความความกระด้างเฉลี่ยมากกว่ากว่าสารสกัดข้าวโพด ดังนั้นสารสกัดถั่วเขียว ให้ผลการทดลองประสิทธิภาพลดความกระด้างได้ดีกว่าสารสกัดข้าวโพด

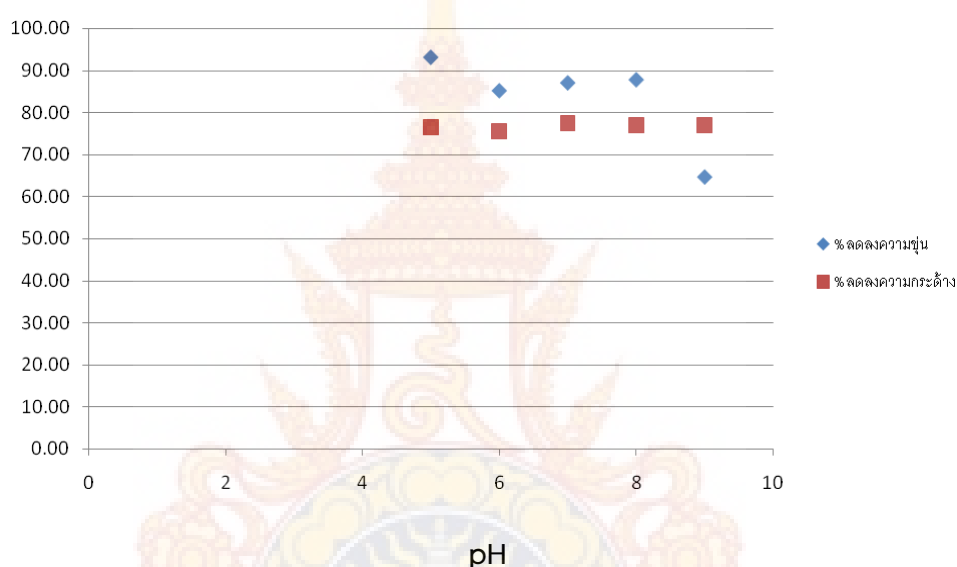
จากการเปรียบเทียบ Orthogonal comparison ของค่าความกระด้าง พบว่าสารสกัดจากเมล็ดมะขาม ให้ค่าผลรวมเฉลี่ยมากกว่าข้าวโพด หมายความว่าสารสกัดจากเมล็ดมะขามให้ผลการทดลองที่มีผลต่อการลดลงของความกระด้างสูงที่สุด



4.2.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอนด้วยสารโคแอกกูแลนต์จากธรรมชาติแบบ ละเอียด

ทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยนำน้ำดิบสังเคราะห์ที่มีความกระด้างและความขุ่น
เหมาะสมกับการสารสกัดจากเมล็ดพืชที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจากข้อ 4.2.1 ได้ผลการทดลองดังรูปที่
4.3

ประสิทธิภาพการบำบัด

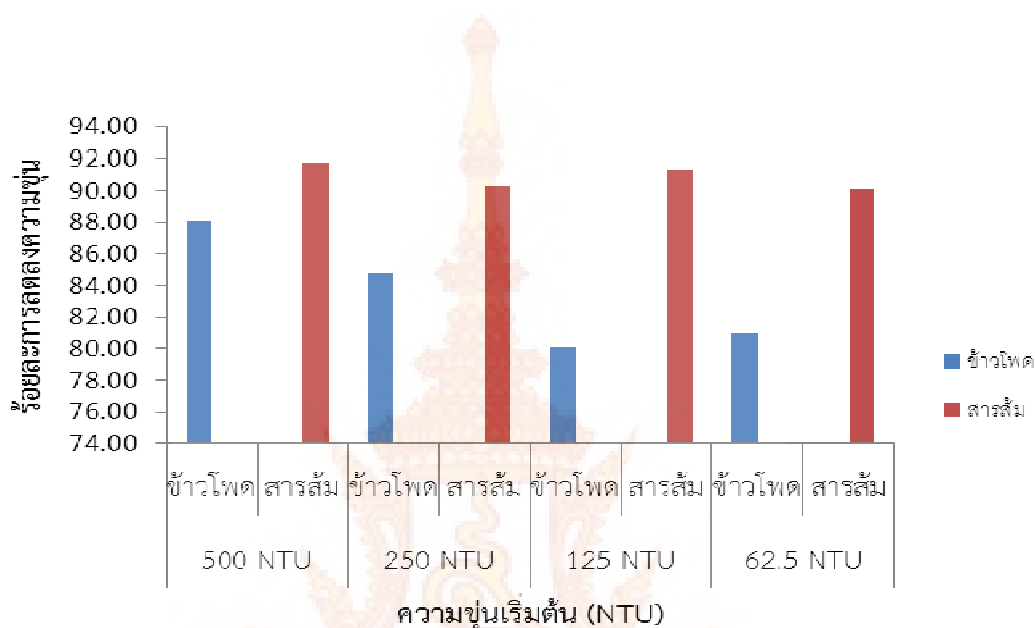


รูปที่ 4.3 ผลของพีเอชที่มีต่อการลดลงของความขุ่นและการลดลงของความกระด้าง

จากรูปที่ 4.3 ทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยนำน้ำดิบสังเคราะห์ที่มีความกระด้าง
289.27 mg/l และ ความขุ่น 273 NTU โดยแปรค่าพีเอชจาก 5-9 พบว่าพีเอชมีความสำคัญต่อ
กระบวนการโคแอกกูเลชันสารจากธรรมชาติ ในช่วงกรดผลของพีเอชในการกำจัดความขุ่นมี
ประสิทธิภาพมาก เนื่องจากความขุ่นเป็นคอลลอยด์มีประจุลบ ดังนั้นสารพอลิเมอร์จากธรรมชาติต้อง
มีประจุบวก สารสกัดจากพืชที่ใช้เป็นโปรตีน มีทั้งบวกและลบ ในช่วงกรดแสดงสมบัติ บวกหรือลบ
ส่วนความกระด้าง จากผลการทดลอง แสดงว่าสารพอลิเมอร์จากธรรมชาติสามารถทำงานในการ
กำจัดความกระด้างได้ทุกช่วง พีเอช

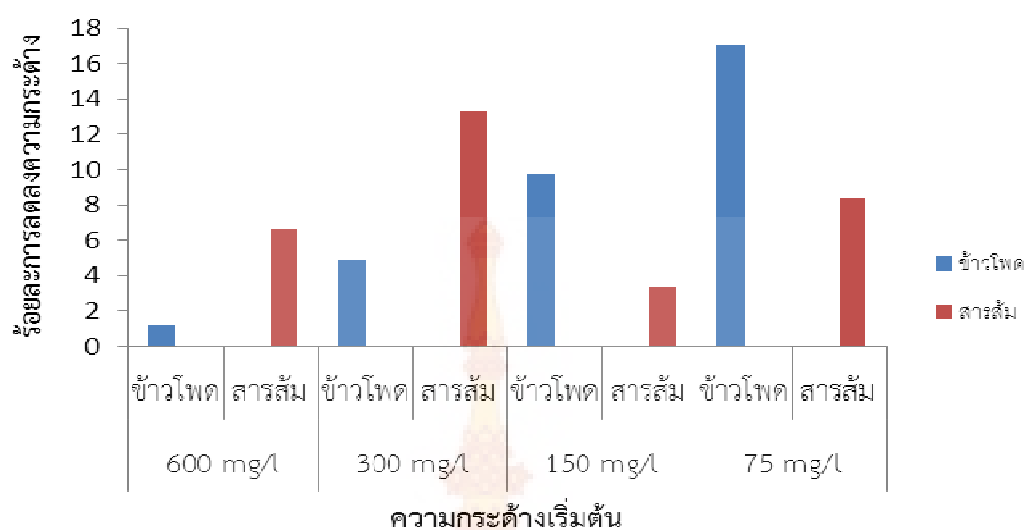
4.3 ผลการศึกษาการปรับสภาพน้ำผิวดินสังเคราะห์โดยใช้สารส้ม

ทดลองบำบัดน้ำดิบสังเคราะห์ด้วยสารส้ม ด้วยเครื่องจาร์เจสต์ จากนั้นจึงนำน้ำไปวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ค่าความกระด้างและค่าความขุ่น นำข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของสารละลายผงแบ่งจากเมล็ดพืช



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดของความขุ่นจากสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดและสารส้ม

จากรูปที่ 4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดของความขุ่นจากสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดและสารส้ม พบว่า สารสกัดจากข้าวโพดมีประสิทธิภาพการลดของความขุ่นใกล้เคียงกับสารส้มในความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU ส่วนน้ำดิบที่ความขุ่นเริ่มต้นต่ำกว่า 500 NTU สารสกัดจากข้าวโพดมีประสิทธิภาพการลดของความขุ่นน้อยกว่าสารส้ม



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดความกระด้างของสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดและสาหร่าย

จากรูปที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดของความกระด้างจากสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดและสาหร่าย พบว่า สารสกัดจากข้าวโพดมีประสิทธิภาพการลดของความกระด้างสูงกว่าสาหร่ายในความกระด้างเริ่มต้นต่ำๆ ส่วนน้ำดิบที่ความกระด้างเริ่มต้นสูงๆ สารสกัดจากข้าวโพดมีประสิทธิภาพการลดของความกระด้างน้อยกว่าสาหร่าย

4.4 ประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดพืช เป็นสารโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอด เปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม

ประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดพืชเป็นสารโคแอกกูแลนต์เปรียบเทียบกับการใช้สารส้มจากราคาวัสดุและค่าไฟฟ้าไม่รวมค่าแรงและการลงทุน การคำนวณ การใช้ไฟฟ้า สารเคมี และเมล็ดพืชสำหรับงานวิจัย

1. เครื่องใช้ไฟฟ้า

เครื่องใช้ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า W	เวลาที่ใช้งาน		FT บาท/หน่วย	จำนวนเงิน บาท
		hr	min		
เครื่องปั่นความเร็วสูง philips HR 2061	600	0	16	49.48	7.92
เครื่องจาร์เทศ STUART SCIENTIFIC SW1	200	11	22	49.48	112.48
เครื่องบดละเอียดความเร็วสูง	1200	2	0	52.04	124.90
รวม					245.30

2. สารเคมีและเมล็ดพืช

สารเคมี หรือ เมล็ดพืช	ราคา บาท/กรัม	ปริมาณที่ใช้ กรัม	จำนวนเงิน บาท
เกลือ (NaCl) AR grade	0.01	153	1.53
สารส้ม ($KAl(SO_4)_2$ AR grade	0.1	1	0.10
เมล็ดมะรุม	0.5	170	85.00
เมล็ดถั่วเขียว	0.039	70	2.73
เมล็ดข้าวโพด	0.04	39	1.56
เมล็ดมะขาม	0.008	359	2.87
รวม			93.79

หมายเหตุ : 1. FT อ้างอิงจากรายงานจากการไฟฟ้านครหลวง ช่วงเดือนมกราคม-เมษายน = 52.04 บาท/หน่วยและช่วงเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม = 46.92 บาท/หน่วย

3. ปริมาณสารเคมีและเมล็ดพืช คือปริมาณที่ใช้ในการทดลองไม่รวมปริมาณที่เหลือทิ้ง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการปรับสภาพน้ำผิวดินโดยใช้เมล็ดพืชเป็นสารรวมตะกอน ด้วยชุดอุปกรณ์ จาร์เทส โดยออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์ ซึ่งศึกษาผลของตัวแปร 3 ตัว คือ ชนิดเมล็ดพืช ความชุ่มเริ่มต้นและความกระด้างเริ่มต้น

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถคำนวณค่าความแปรปรวนประสิทธิภาพในการบำบัดความชุ่มของการความกระด้างเริ่มต้น ความชุ่มเริ่มต้น และชนิดเมล็ดพืช จะได้ค่า F ของความกระด้างเริ่มต้นเท่ากับ 2.07 ค่า F ของความชุ่มเริ่มต้นเท่ากับ 2.54 ค่า F ของชนิดเมล็ดพืชเท่ากับ 2.07 มีค่าน้อยกว่า $F_{0.1}$ เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวแปรสามตัวนี้ ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดความชุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนคำนวณค่าความแปรปรวนประสิทธิภาพในการบำบัดความกระด้างของตัวแปรเดียวกัน จะได้ค่า F ของความกระด้างเริ่มต้นเท่ากับ 8.92 ค่า F ของชนิดเมล็ดพืชเท่ากับ 15.16 มีค่ามากกว่า $F_{0.1}$ ค่า F ของความชุ่มเริ่มต้นเท่ากับ 3.15 มีค่าน้อยกว่า $F_{0.1}$ แสดงว่าความกระด้างเริ่มต้นและชนิดเมล็ดพืชมีผลต่อการบำบัดความกระด้าง เมื่อเปรียบเทียบ Orthogonal comparison ของค่าการลดลงความกระด้าง พบว่าสารสกัดจากเมล็ดมะขาม ให้ค่าผลรวมเฉลี่ยมากกว่าข้าวโพด หมายความว่าสารสกัดจากเมล็ดมะขามให้ผลการทดลองที่มีผลต่อการลดลงของความกระด้างสูงที่สุด

ทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยนำน้ำดิบสังเคราะห์ที่มีความกระด้างและความชุ่มเหมาะสมกับการสารสกัดจากเมล็ดพืชที่มีประสิทธิภาพสูงสุด พบว่า พีเอชมีความสำคัญต่อกระบวนการโคแอกกูเลชันสารจากธรรมชาติ ในช่วงกรดผลของพีเอชในการกำจัดความชุ่มมีประสิทธิภาพมาก

การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างสารสกัดข้าวโพดและสามสั้ม ซึ่งมีลักษณะการทดลองและการคำนวณเช่นเดียวกัน ผลที่ได้คือ สารสกัดข้าวโพดมีประสิทธิภาพในการบำบัดความชุ่มเริ่มต้นได้น้อย

กว่าสารส้ม ในส่วนของความกระด้าง สารสกัดข้าวโพดมีประสิทธิภาพในการบำบัดความกระด้างได้ใกล้เคียงกับสารส้ม และได้ผลดีในช่วงความกระด้างเริ่มต้นต่ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

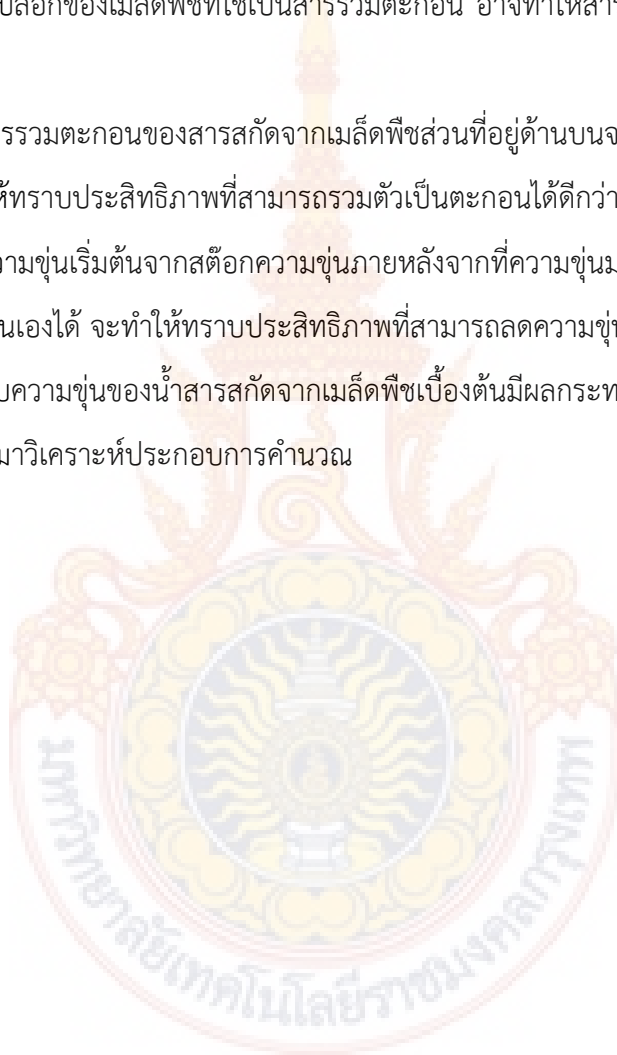
5.2.1 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสภาวะต่างๆ เพิ่มเติม เช่น ปริมาณของสารสกัดจากเมล็ดพืช

5.2.2 แกะเปลือกของเมล็ดพืชที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน อาจทำให้สารรวมตะกอนมีประสิทธิภาพดีขึ้น

5.2.3 นำสารรวมตะกอนของสารสกัดจากเมล็ดพืชส่วนที่อยู่ด้านบนจากการกั้นตะกอนมาใช้ปรับสภาพน้ำ จะทำให้ทราบประสิทธิภาพที่สามารถรวมตัวเป็นตะกอนได้ดีกว่า

5.3.4 นำความขุ่นเริ่มต้นจากสต็อกความขุ่นหลังจากที่ความขุ่นมาตรฐานตั้งทิ้งไว้จนไม่สามารถตกตะกอนเองได้ จะทำให้ทราบประสิทธิภาพที่สามารถลดความขุ่นได้ดีกว่า

5.3.5 ระดับความขุ่นของน้ำสารสกัดจากเมล็ดพืชเบื้องต้นมีผลกระทบต่อการลดลงของความขุ่น จึงควรนำแบล็กมาวิเคราะห์ประกอบการคำนวณ



บรรณานุกรม

- [1] กรมทรัพยากรน้ำบาดาล.2010. โครงการจัดทำแผนบูรณาการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินทั่วประเทศ[online] Available: <http://conjgis.dgr.go.th/conjcenter/MIS/Content.aspx?id=1> (Retrieved Sep 13, 2011)
- [2] สิทธิธีรภัทร์ ชโรเตเตอร์. 2554. “Aluminium”[ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก: http://summacheeva.org/index_thaitox_aluminium.htm. (วันที่สืบค้น 29 มกราคม 2555)
- [3] TIK-FARM. 2551. “การปลูกต้นมะรุ่ม” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก: http://tik-farm.blogspot.com/2012/05/blog-post_03.html (วันที่สืบค้น 2 มีนาคม 2555)
- [4] เอื้อกานต์ วรโพธิ์. 2551. “มะรุ่ม พืชมหัศจรรย์”[ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก: <http://hilight.kapook.com/view/28135> (วันที่สืบค้น 2 มีนาคม 2555)
- [5] สมุนไพรไทย. 2555. “ถั่วเขียว”[ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก: http://thaiherb.info/green-beans.html?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=green-beans (วันที่สืบค้น 2 มีนาคม 2555)
- [6] หมอชาวบ้าน. 2540. “คุณค่าสีเขียวจากธรรมชาติ” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก: <http://www.doctor.or.th/article/detail/2908> (วันที่สืบค้น 3 มีนาคม 2555)
- [7] องค์กรนาฏ ศรีบุญแก้ว. 2554. “ถั่วเขียว” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก: <http://www.bedo.or.th/lcdb/biodiversity/view.aspx?id=11097> (วันที่สืบค้น 1 มีนาคม 2555)
- [8] ไทยเกษตรศาสตร์. 2554. “คำแนะนำการปลูกถั่วเขียว” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก: <http://www.thaikasetsart.com/> (วันที่สืบค้น 22 กุมภาพันธ์ 2555)
- [9] หมอชาวบ้าน. 2546. “ถั่วเขียวกับสุขภาพ” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก: <http://www.doctor.or.th/article/detail/1652> (วันที่สืบค้น 23 มีนาคม 2555)
- [10] หมอชาวบ้าน. 2530. “ถั่วเขียว อาหารสำหรับหน้าร้อน” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก: <http://www.doctor.or.th/article/detail/4515> (วันที่สืบค้น 23 มีนาคม 2555)

- [11] โอเคเนชั่น. 2555. “การปลูกมะขามหวาน” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://www.oknation.net/blog/print.php?id=827914> (วันที่สืบค้น 23 มีนาคม 2555)
- [12] กระทรวงศึกษาธิการ. 2551. “สรรพคุณของมะขาม” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://www.moe.go.th/moe/th/blog/viewblog.php?memberid=159&blogid=67> (วันที่สืบค้น 24 มีนาคม 2555)
- [13] วิกีพีเดีย. 2556. “มะขาม” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก: <http://th.wikipedia.org/wiki/>
 (วันที่สืบค้นข้อมูล 24 มีนาคม 2555)
- [14] เฮอบริสต้า. 2553. “มะขามหวาน” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://www.herbrista.com/item-10> (วันที่สืบค้น 12 มีนาคม 2555)
- [15] ปาลิตา โตศรีสวัสดิ์เกษม. 2555. “มะขาม สมุนไพรใกล้ตัว” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://herbalssak.blogspot.com/2012/01/blog-post.html#!/2012/01/blog-post.html> (วันที่สืบค้น 12 มีนาคม 2555)
- [16] มะขาม. 2552. “คุณค่าทางโภชนาการของมะขาม” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://www.มะขาม.com> (วันที่สืบค้น 22 มีนาคม 2555)
- [17] อ.อ่าง. 2555. “ข้าวโพด” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://www.oang99.com/menu/> (วันที่สืบค้น 22 มีนาคม 2555)
- [18] วิกีพีเดีย. 2556. “ข้าวโพด” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก: <http://th.wikipedia.org/wiki/>
 (วันที่สืบค้น 23 มีนาคม 2555)
- [19] จินตน์กานต์ งามสุทธา. 2554. “ัญพืชผักประโยชน์” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
http://it.doa.go.th/pibai/pibai/n14/v_11-dec/rai.html (วันที่สืบค้น 23 มีนาคม 2555)
- [20] อินเดกซ์ ทุย. 2552. “ข้าวโพดมีประโยชน์มากมาย” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://www.index2you.com/life-a-style/food-a-drink/202-food.html>
 (วันที่สืบค้น 25 มีนาคม 2555)

- [21] วิตามิน. 2554. “ข้าวโพด” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://www.vitamin.co.th/VitaminEncyclopediaDetail.asp?id=140&foodname=>
 (วันที่สืบค้น 22 มีนาคม 2555)
- [22] สมุนไพรดอทคอม. 2554. “ข้าวโพด” [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://www.samunpri.com/?p=2810> (วันที่สืบค้น 22 มีนาคม 2555)
- [23] เบญจา ไสร็จจาภินันท์, 2536. โคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอ็ดจากเมล็ดมะขาม.
 วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [24] Mollah, M.A.Y, Schennach, R.S., Parga, R.J. and David, L. 2001. Electrocoagulation science and application, J. Hazard. Matter. B84;29-41.
- [25] ไพศาล วีรกิจ. 2545. การผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ: บริษัทเอ็มแอนด์ อี จำกัด.
- [26] Bensadok, K., Benemmar, S., Lappicque, F., and Nezzal, G. 2008. Electrocoagulation of cutting oil emulsion using aluminium plate electrodes, J. Hazardous Materials. 152; 423-430.
- [27] Hammer, M.J. 1996. Water and wastewater technology, 3rd, United States of America: Prentice-Hall, Inc. 519p.
- [28] Abdel-Shafy, H.I., and Abdel-Basier, S.E. 1991. Chemical treatment of industrial wastewater. Environmental Management Health. 2(3): 19-23.
- [29] United Nations World Water Assessment Program. 2003. Water for people, water for life. Barcelona.
- [30] Mallevialle, J., Brichet, A., and Fiessinger, F. 1984. How safe are organic polymers in water treatment. J. Am. Wat. Wks. Assoc. 76: 87-93.
- [31] Nilanjana Rao, “Use of Plant Material as Natural Coagulants for Treatment for Waste Water” 2005 [online] Available: <http://www.visionriverviewpoint.com/article.asp?articleid=48> (Retrieved Sep 13, 2011)
- [32] Folkard, G., Sutherland, J. and Reya Al- Khalili, U.K. 1995. Natural coagulants - A sustainable approach, 21st WEDC Conference.

- [33] Jahn S. A. A. 1986. Proper use of African natural coagulants for rural water supplies:
- [34] Ndbigengesere, A., Narasiah, K.S., Talbot, B.G., 1995. Active agent and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Water Res.* 29 (2), 703–710.
- [35] Ndbigengesere, A., Narasiah, K.S., 1998. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. *Water Res.* 32 (3), 781– 791.
- [36] Muyibi, S.A., Okufu, C.A., 1995. Coagulation of low turbidity surface water with *Moringa oleifera* seeds. *Int. J. Environ. Stud.* 48, 263– 273.
- [37] Ademiluyi A. (1988) Sludge conditioning with *Moringa* seeds. *Envier . Int .* 14, 59 – 63.
- [38] Cohen M., Amirhor P., Engelbrecht R.S., 1958. *Naturai and Synthetic Polyelectrolyte as Coagulant Aid.* p.463-478
- [39] จิราพร สมนาวรรณ, 2533. การคัดเลือกวัสดุธรรมชาติเป็นสารโคแอกกูแลนต์. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [40] Jahn., 1988. Using *Moringa* Seeds as Coagulant in Developing Countries. p. 43-50.
- [41] Robinson C.N. Jr., 1974. *Polyelectrolyte as Primary Coagulant for Portable Water System.* p. 252-257.
- [42] Šćiban, M., Klačnja, M., Antov, M., Škrbić, B., 2009. Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology.* 100: 6639-6643.
- [43] American Water Works Association (AWWA). 1998. *Water quality and treatment: A Handbook of Community Water Supplies*, 20th ed. McGraw-Hill, New York.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลอง และการวิเคราะห์

ก.1 การทดลอง จาร์เทส

ทำการทดลองศึกษาการปรับสภาพน้ำผิวดินสังเคราะห์เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดย ออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์ ซึ่งศึกษาผลของตัวแปร 3 ตัวคือ ความขุ่นเริ่มต้น ความกระด้างเริ่มต้น และ ชนิดเมล็ดพืช

ตารางที่ ก.1 การออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์

ความกระด้าง (mg/l)	ความขุ่น(NTU)			
	500	250	125	62.5
600	A1	A2	A3	A4
300	A5	A6	A7	A8
150	A9	A10	A11	A12
75	A13	A14	A15	A16

โดย A1, A6, A11, A16 = สารสกัดเมล็ดมะรุม
 A2, A7, A12, A13 = สารสกัดเมล็ดมะขาม
 A3, A8, A9, A14 = สารสกัดเมล็ดข้าวโพด
 A4, A5, A10, A15 = สารสกัดเมล็ดถั่วเขียว

วิธีการทดลอง ยกตัวอย่างการทำการทดลองที่ภาวะที่ 1 ค่าความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU และ ค่าความกระด้าง 600 mg/l โดยนำสารละลายความขุ่นเผื่อใช้ หรือ สต็อก 4,000 NTU มา 125 ml และเติมแคลเซียมคลอไรด์ 0.415 g แมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต 0.456 g ปรับปริมาตรเป็น 1 L หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดความขุ่นเริ่มต้นและความกระด้างเริ่มต้น แล้วทำการทดลอง ดังนี้

1) เติมน้ำฟิวดินสังเคราะห์ที่มีค่าความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU และ ความกระด้างเริ่มต้น 600 mg/l ปริมาณ 250 ml ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 ml จำนวน 3 บีกเกอร์

2) เติมสารรวมตะกอนจากพืชที่เตรียมลงไปในปริมาตรที่เหมาะสม โดยทดลองหยดสารสกัดที่ได้จากเมล็ดมะรุม มะขาม ข้าวโพด ถั่วเขียว ในบีกเกอร์ขนาด 100 ml จำนวน 10 ใบ โดยใช้ปริมาตรสารสกัดจากเมล็ดพืชต่างกัน จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาความขุ่นที่น้อยที่สุด เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมที่สุด

3) เปิดเครื่องกวนโดยใช้ความเร็วรอบ 150 rpm ใช้เวลาในการกวนเร็ว 1 min แล้วปรับเครื่องกวนให้มีความเร็วรอบ 25 rpm ใช้เวลาในการกวนช้า 30 min แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 hr

4) วิเคราะห์น้ำใส เพื่อหาความขุ่นและความกระด้างที่เหลืออยู่

5) ส่วนการทดลองอื่นๆ มีวิธีทำเช่นเดียวกับข้อ 1) – 4) โดยมีรายละเอียดการเตรียมดังตารางที่ ก.2 – ก.5

ตารางที่ ก.2 การเตรียมน้ำฟิวดินสังเคราะห์สำหรับสารสกัดจากเมล็ดมะรุม

สารที่ใช้	ความขุ่นเริ่มต้น (NTU) และ ความกระด้างเริ่มต้น (mg/L)			
	ภาวะที่ A1	ภาวะที่ A6	ภาวะที่ A11	ภาวะที่ A16
ปริมาตรสต็อก 4000 NTU (ml)	125.000	62.500	31.250	15.625
แคลเซียมคลอไรด์ (g)	0.415	0.207	0.103	0.051
แมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (g)	0.456	0.228	0.114	0.057

ตารางที่ ก.3 การเตรียมน้ำผิวดินสังเคราะห์สำหรับสารสกัดจากเมล็ดมะขาม

สารที่ใช้	ความขุ่นเริ่มต้น (NTU) และ ความกระด้างเริ่มต้น (mg/L)			
	ภาวะที่ A2	ภาวะที่ A7	ภาวะที่ A12	ภาวะที่ A13
ปริมาตรสต็อก 4000 NTU (ml)	62.500	31.250	15.625	125.000
แคลเซียมคลอไรด์ (g)	0.415	0.207	0.103	0.051
แมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (g)	0.456	0.228	0.114	0.057

ตารางที่ ก.4 การเตรียมน้ำผิวดินสังเคราะห์สำหรับสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพด

สารที่ใช้	ความขุ่นเริ่มต้น (NTU) และ ความกระด้างเริ่มต้น (mg/L)			
	ภาวะที่ A3	ภาวะที่ A8	ภาวะที่ A9	ภาวะที่ A14
ปริมาตรสต็อก 4000 NTU (ml)	31.250	15.625	125.000	62.500
แคลเซียมคลอไรด์ (g)	0.415	0.207	0.103	0.051
แมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (g)	0.456	0.228	0.114	0.057

ตารางที่ ก.5 การเตรียมน้ำผิวดินสังเคราะห์สำหรับสารสกัดจากเมล็ดถั่วเขียว

สารที่ใช้	ความขุ่นเริ่มต้น (NTU) และ ความกระด้างเริ่มต้น (mg/L)			
	ภาวะที่ A4	ภาวะที่ A5	ภาวะที่ A10	ภาวะที่ A15
ปริมาตรสต็อก 4000 NTU (ml)	15.625	125.000	62.500	31.250
แคลเซียมคลอไรด์ (g)	0.415	0.207	0.103	0.051
แมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (g)	0.456	0.228	0.114	0.057

ก.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำใส

ก.2.1 วัดความขุ่นด้วยเครื่อง Turbidity meter

การทดลองนี้วิเคราะห์น้ำผิวดินส่งเคราะห์ด้วยเครื่อง Turbidity meter มีวิธีการคือทำให้เครื่องมีความแม่นยำ โดยการสอบเทียบกับสารละลายมาตรฐานหลังจากนั้นจึงนำไปวัดกับสารตัวอย่าง มีรายละเอียดดังนี้

1) กดสวิตช์ ON – OFF

2) สอบเทียบเครื่อง

2.1) เขย่าขวดสารมาตรฐานแต่ละขวดให้เนื้อสารเข้ากัน อย่าให้มีฟองอากาศ พยายามจับที่คอขวดอย่าให้มีรอยนิ้วมือ ถ้ามีรอยนิ้วมือให้ใช้ผ้าทำความสะอาด เนื่องจากจะเกิดรบกวนขวดสารมาตรฐานได้ ทำให้ค่าการตรวจวัดผิดพลาด

2.2) กดปุ่ม CAL ที่ตัวเครื่อง จากนั้นเครื่องจะเรียกหาสารมาตรฐานตัวที่ 1 ใส่สารมาตรฐานตัวที่ 1 ลงไปในช่องใส่ขวดวัดมาตรฐาน ให้ marker อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด (จะสังเกตเห็น marker สามเหลี่ยมที่ขวดและมุมสามเหลี่ยมตัวเครื่องให้ตรงกัน) เมื่อใส่สารลงไปแล้วกด READ เครื่องจะเรียกหาสารมาตรฐานตัวที่ 2 ต่อไป ทำเช่นนี้จนครบสารละลายมาตรฐาน 4 ตัวคือ 0.02, 20.0, 100 และ 800 NTU เมื่อเสร็จการวัดสารละลายมาตรฐานตัวสุดท้าย จะปรากฏคำว่า STBY หมายถึงเครื่องพร้อมใช้งาน

2.3) ทำการวัดโดยใส่น้ำตัวอย่างในขวดวัดมาตรฐาน ทำความสะอาดด้วยผ้า ใส่ขวดวัดลงในช่อง ให้ marker อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด กดปุ่ม READ จะปรากฏค่าที่ต้องการ

ก.2.2 วิเคราะห์หาความกระด้างที่เหลือของน้ำด้วยวิธีไทเทรตด้วยอีดีทีเอ

ทำการวิเคราะห์ความกระด้าง โดยการหาปริมาณของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ในน้ำสามารถทำได้โดยการไทเทรตกับสารละลายอีดีทีเอ มีวิธีการดังนี้

1) ปิเปตตัวอย่างน้ำ 25 ml

2) ปรับปริมาตรของน้ำตัวอย่างให้เป็น 50 ml ด้วยน้ำกลั่น ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml

3) เติมสารละลายบัฟเฟอร์ 2 ml

4) เติมอีรีโอโครม แบลค ที่ อินดิเคเตอร์ แบบผงลงไปปลายช้อน จะเกิดเป็นสีม่วงแดง

5) ไทเทรตด้วยอีดีทีเอ 0.01 M ไทเทรตจนถึงจุดยุติคือสีม่วงแดงเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินทันทีที่ผล

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลองการลดความขุ่นและความกระด้าง

เมล็ดพืชที่ใช้ มะรุม ปริมาตรสารสกัดที่ใช้ 25 mL
 หมายเลขน้ำดิบสังเคราะห์ A1 ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้ 250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	595.00	573.00	79.00	81.6	2.455	85.76
2			82.40			
3			84.80			
4			83.30			
5			78.50			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTA ที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	764.49	268.61	1033.10	3.60	743.83	748	30.367	27.6
2				3.90	805.82			
3				3.50	723.17			
4				3.60	743.83			
5				3.50	723.17			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std $\text{CaCO}_3 = 24.2$



เมล็ดพืชที่ใช้ มะรุม ปริมาตรสารสกัดที่ใช้ 15 mL

หมายเลขน้ำดิบสังเคราะห์

A6

ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้ 250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่น หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	339.00	390.00	131.00	150.8	28.223	61.33
2			152.00			
3			205.00			
4			136.00			
5			130.00			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTAที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	289.27	268.61	557.88	0.90	185.96	177.7	28.027	68.15
2				1.00	206.62			
3				0.70	144.63			
4				1.00	206.62			
5				0.70	144.63			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std $\text{CaCO}_3 = 24.2$



เมล็ดพืชที่ใช้

มะรุม

ปริมาตรสารสกัดที่ใช้

35 mL

หมายเลขน้ำดิบสังเคราะห์

A11

ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้

250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	148.00	335	206.00	188.3	12.731	43.80
2			167.00			
3			192.00			
4			192.00			
5			184.30			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTA ที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	154.97	268.61	423.58	1.40	289.27	301.7	10.122	28.78
2				1.50	309.93			
3				1.40	289.27			
4				1.50	309.93			
5				1.50	309.93			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std $\text{CaCO}_3 = 24.2$



เมล็ดพืชที่ใช้

หมายเลขน้ำดิบสังเคราะห์

mL

mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	53.70	68.50	153.00	185.8	26.423	-171.24
2			157.00			
3			211.00			
4			216.00			
5			192.00			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTAที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	103.31	268.61	371.92	0.60	123.97	144.6	13.067	61.11
2				0.70	144.63			
3				0.70	144.63			
4				0.70	144.63			
5				0.80	165.29			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std $\text{CaCO}_3 = 24.2$



เมล็ดพืชที่ใช้ มะขาม ปริมาตรสารสกัดที่ใช้ 45 mL
 หมายเลขน้ำดิบสังเคราะห์ A2 ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้ 250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	328.00	287.00	13.25	16.49	2.12	94.25
2			16.75			
3			17.66			
4			19.50			
5			15.30			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTAที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	568.21	516.55	1084.76	2.70	558.04	462.96	44.13	57.32
2				2.70	558.04			
3				2.60	537.37			
4				2.70	558.04			
5				3.20	661.38			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std $\text{CaCO}_3 = 24.2$



ปริมาตรสารสกัดที่ใช้ 40 mL
ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้ 250 mL

หมายเลข	ความชุ่มเริ่มต้น	ความชุ่มหลังผสมสารสกัด	ความชุ่มหลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความชุ่ม
1	143.00	133.00	14.19	15.31	1.21	88.49
2			17.53			
3			14.30			
4			15.50			
5			15.05			

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTAที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	ผลลดความกระด้าง
1	299.60	516.55	816.15	1.60	330.59	322.33	38.32	60.51
2				1.90	392.58			
3				1.50	309.93			
4				1.40	289.27			
5				1.40	289.27			

ปริมาตรสารสกัดที่ใช้ 30 mL

หมายเลขน้ำดิบสังเคราะห์

A12

ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้

250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	58.80	43.60	6.75	7.14	0.81	83.63
2			7.77			
3			7.23			
4			5.81			
5			8.12			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTAที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	74.38	516.55	590.93	0.80	165.30	183.89	13.71	68.88
2				0.85	175.63			
3				0.90	185.96			
4				1.00	206.62			
5				0.90	185.96			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std $\text{CaCO}_3 = 24.2$



เมล็ดพืชที่ใช้

หมายเลขน้ำดิบสังเคราะห์

mL

mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	572.00	499.00	31.80	31.88	1.71	93.61
2			30.40			
3			31.60			
4			30.50			
5			35.10			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTA ที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	82.65	516.55	599.20	0.60	123.97	132.88	66.83	77.82
2				0.60	123.97			
3				0.60	123.97			
4				0.60	123.97			
5				0.80	165.30			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std $\text{CaCO}_3 = 24.2$



เมล็ดพืชที่ใช้ ข้าวโพด ปริมาตรสารสกัดที่ใช้ 5 mL
 หมายเลขน้ำดิบสังเคราะห์ A3 ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้ 250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	134.00	169.00	52.70	58.52	3.83	65.37
2			57.10			
3			58.00			
4			60.50			
5			64.30			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTAที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	557.87	123.97	681.84	3.00	619.86	607.46	16.53	10.91
2				2.90	599.198			
3				2.80	578.536			
4				3.00	619.86			
5				3.00	619.86			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std $\text{CaCO}_3 = 24.2 \text{ mL}$



เมล็ดพืชที่ใช้ ข้าวโพด ปริมาตรสารสกัดที่ใช้ 5 mL
 หมายเลขน้ำดิบสังเคราะห์ A8 ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้ 250 mL

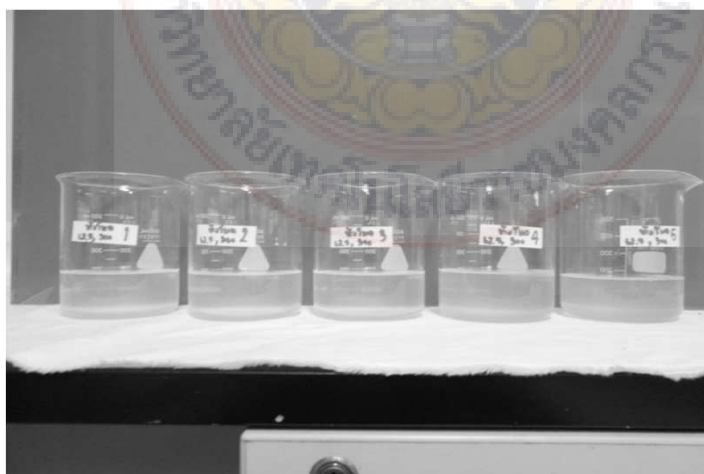
Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	54.60	71.20	35.90	39.62	2.30	44.35
2			40.20			
3			39.40			
4			39.50			
5			43.10			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTA ที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	289.27	123.97	413.24	1.30	268.61	301.67	21.07	27
2				1.50	309.93			
3				1.60	330.59			
4				1.50	309.93			
5				1.40	289.27			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std $\text{CaCO}_3 = 24.2 \text{ mL}$



เมล็ดพืชที่ใช้
 หมายเลขน้ำดิบสังเคราะห์ A9 ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้ 250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	568.00	516.00	52.70	56.42	2.86	89.07
2			53.40			
3			59.50			
4			57.30			
5			59.20			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTA ที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	154.97	123.97	278.94	1.00	206.62	214.88	21.07	22.96
2				1.00	206.62			
3				1.10	227.28			
4				1.20	247.94			
5				0.90	185.96			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std CaCO_3 = 24.2 mL



เมล็ดพืชที่ใช้
หมายเลขน้ำดิบสังเคราะห์

mL

mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	315.00	312.00	57.70	60.88	3.14	80.49
2			60.50			
3			66.50			
4			58.20			
5			61.50			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTAที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	82.65	123.97	206.62	0.50	103.31	111.57	16.53	46
2				0.50	103.31			
3				0.50	103.31			
4				0.50	103.31			
5				0.70	144.63			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std CaCO_3 = 24.2 mL



เมลิคพีชที่ใช้	ถั่วเขียว	ปริมาตรสารสกัดที่ใช้	20 mL
หมายเลขน้ำดิบสังเคราะห์	A4	ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้	250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	54.40	71.10	43.10	44.92	3.41	36.82
2			48.70			
3			43.60			
4			40.20			
5			49.00			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTAที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	557.87	165.3	723.17	2.70	557.87	553.742	15.46	23.43
2				2.70	557.87			
3				2.60	537.21			
4				2.60	537.21			
5				2.80	578.54			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std CaCO_3 = 24.2 mL



เม็ล็ดพืซที่ไ้
หมายเลขน้้ดบส้งเคระห์

ถ้วเขียว
A5

ปริมาตรสารสัถ์ที่ไ้ 10 mL
ปริมาตรน้้ดบส้งเคระห์ที่ไ้ 250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ควมขุ่นเรื่มีต้น	ควมขุ่นหล้งพสมสารสัถ์	ควมขุ่นหล้งปรบัสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงควมขุ่น
1	605	574	80.90	84.12	7.53	85.34
2			88.50			
3			78.10			
4			96.70			
5			76.40			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้้ดบ	hardness สารสัถ์	hardness รวม	ปริมาตร EDTAที่ไ้	hardness หล้งปรบัสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงควมกระด้าง
1	289.27	165.3	454.57	1.60	330.59	322.327	16.53	29.09
2				1.50	309.93			
3				1.50	309.93			
4				1.50	309.93			
5				1.70	351.25			

หมายเหตุ ปริมาตรดวอย่งที่ไ้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std CaCO_3 = 24.2 mL



เมล็ดพืชที่ใช้
 หมายเลขน้ำดิบสังเคราะห์

ถวเขยว
 A10

ปริมาตรสารสกัดพืช
 ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้

10 mL
 250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	269.00	318.00	69.90	67.10	3.48	78.90
2			63.40			
3			66.70			
4			63.40			
5			72.10			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTAที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	144.63	165.3	309.93	0.80	165.30	157.031	10.12	49.33
2				0.70	144.63			
3				0.80	165.30			
4				0.80	165.30			
5				0.70	144.63			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std CaCO_3 = 24.2 mL



เมล็พืชที่ใช้

1L

หมายเลขน้ำดิบสังเคราะห์

[REDACTED] mL

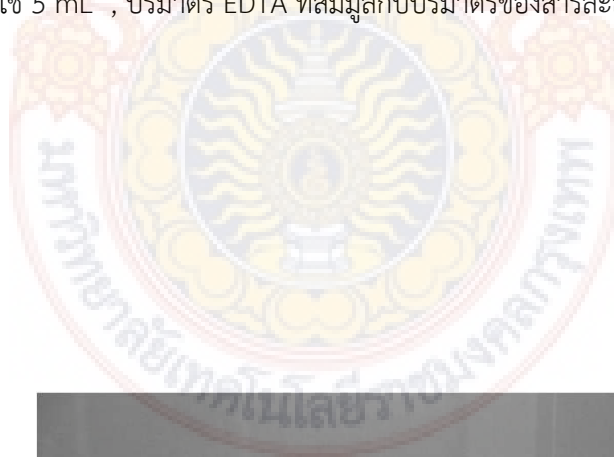
Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	168.00	180.00	78.50	79.66	2.17	55.74
2			76.80			
3			82.00			
4			78.60			
5			82.40			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTA ที่ใช้	hardness หลังปรับสภาพ	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	103.31	165.3	268.61	0.50	103.31	115.707	21.07	56.92
2				0.40	82.65			
3				0.70	144.63			
4				0.60	123.97			
5				0.60	123.97			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std CaCO_3 = 24.2 mL



การวิเคราะห์ความกระด้างด้วยวิธีการไทเทรตอีดีทีเอ (EDTA Titrimetric Method)

1. หลักการ

ปริมาณความกระด้างทั้งหมดสามารถหาได้โดยการคำนวณจากค่าของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่อยู่ในน้ำ แต่น้ำนั้นมีไอออนบวกตัวอื่นที่ทำให้เกิดความกระด้างในปริมาณสูงต้องนำมาคำนวณด้วย

2. การคำนวณเพื่อเป็นความกระด้างเริ่มต้น

$$\text{ความกระด้าง (mg/L, ในรูป CaCO}_3\text{)} = 2.497 [\text{Ca, mg/L}] + 4.118 [\text{Mg, mg/L}]$$

3. ตัวอย่างการคำนวณ ที่ 600 mg/L

แคลเซียมคลอไรด์ 0.417 g. มีแคลเซียม 150.584 mg/L

แมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต 0.456 g. มีแมกนีเซียม 54.527 mg/L

$$\begin{aligned}\text{ความกระด้าง (mg/L, ในรูป CaCO}_3\text{)} &= 2.497 [150.584, \text{mg/L}] + 4.118 [54.527, \text{mg/L}] \\ &= 600 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

4. การคำนวณหลังจากไทเทรต

$$\begin{aligned}\text{ความกระด้าง (mg/L, ในรูป CaCO}_3\text{)} &= \frac{A \times B \times 1000}{\text{ปริมาณตัวอย่าง (ml)}}\end{aligned}$$

A = ปริมาตรอีดีทีเอที่ใช้ในการไทเทรตเป็น ml.

B = mg CaCO₃ ซึ่งสมมูลกับ 1. ml. อีดีทีเอ (ถ้าสารละลายอีดีทีเอสมมูลย์พอดี ค่า B = 1.0)

5 ตัวอย่างการคำนวณ A1 (ปริมาตรอีดีทีเอ 2.68)

$$\begin{aligned}\text{ความกระด้าง (mg/L, ในรูป CaCO}_3\text{)} &= \frac{2.68 \times 1 \times 1000}{5} \\ &= 537 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

ตารางที่ ข.1 ปริมาณการใช้สารส้มในการลดความขุ่น

ความขุ่น เริ่มต้น (NTU)	ปริมาณ สารส้ม (ml)	ความขุ่น บีกเกอร์ 1 (NTU)	ความขุ่น บีกเกอร์ 2 (NTU)	ความขุ่น บีกเกอร์ 3 (NTU)	ความขุ่น เฉลี่ย (NTU)
505	2.50	42.50	40.90	41.50	41.63
253	3.00	24.80	24.60	24.20	24.53
127	0.50	11.00	11.00	10.95	10.98
65	1.00	6.50	6.42	6.40	6.44

ตารางที่ ข.2 ปริมาณการใช้สารส้มในการลดความกระด้าง

ความกระด้าง เริ่มต้น (mg/l)	ปริมาณ สารส้ม (ml)	ความกระด้าง บีกเกอร์ 1 (mg/l)	ความกระด้าง บีกเกอร์ 2 (mg/l)	ความกระด้าง บีกเกอร์ 3 (mg/l)	ความกระด้าง เฉลี่ย (mg/l)
608	2.50	566.70	567.80	568.00	567.50
307	3.00	266.80	265.70	265.80	266.10
153	0.50	146.80	148.40	148.50	147.90
67	1.00	61.35	61.40	61.50	61.41

ตารางที่ ข.3 แบลงค์ความขุ่นน้ำพืช

สารสกัดจาก เมล็ดพืช	ความขุ่นเริ่มต้น (NTU)	ความขุ่นหลังเข้าจาร์เทส (NTU)	ประสิทธิภาพการลดความขุ่น (%)
มะรุม	4,240.00	276.00	93.49
มะขาม	1,930.00	721.00	62.64
ข้าวโพด	3,690.00	1,680.00	54.47
ถั่วเขียว	2,201.70	687.00	35.72

ตารางที่ ข.4 แบลงค์ความกระด้างน้ำพีช

สารสกัดจาก เมล็ดพีช	ความกระด้าง เริ่มต้น (mg/l)	ความกระด้างหลังเข้าจาร์เทศ (mg/l)	ประสิทธิภาพการลดความ กระด้าง (%)
มะรุ้ม	460.00	426.67	7.25
มะขาม	320.00	266.67	16.67
ข้าวโพด	153.33	140.00	8.69
ถั่วเขียว	220.00	193.00	12.27

ตารางที่ ข.5 แบลงค์ความขุ่นน้ำผิวดินสังเคราะห์

ความขุ่นเริ่มต้น (NTU)	ความขุ่นหลังเข้าจาร์เทศ (NTU)	ประสิทธิภาพการลดความขุ่น (%)
504.00	377.00	25.19
256.00	202.00	21.09
131.00	121.00	7.63
64.30	62.00	3.27

ตารางที่ ข.6 แบลงค์ความกระด้างน้ำผิวดินสังเคราะห์

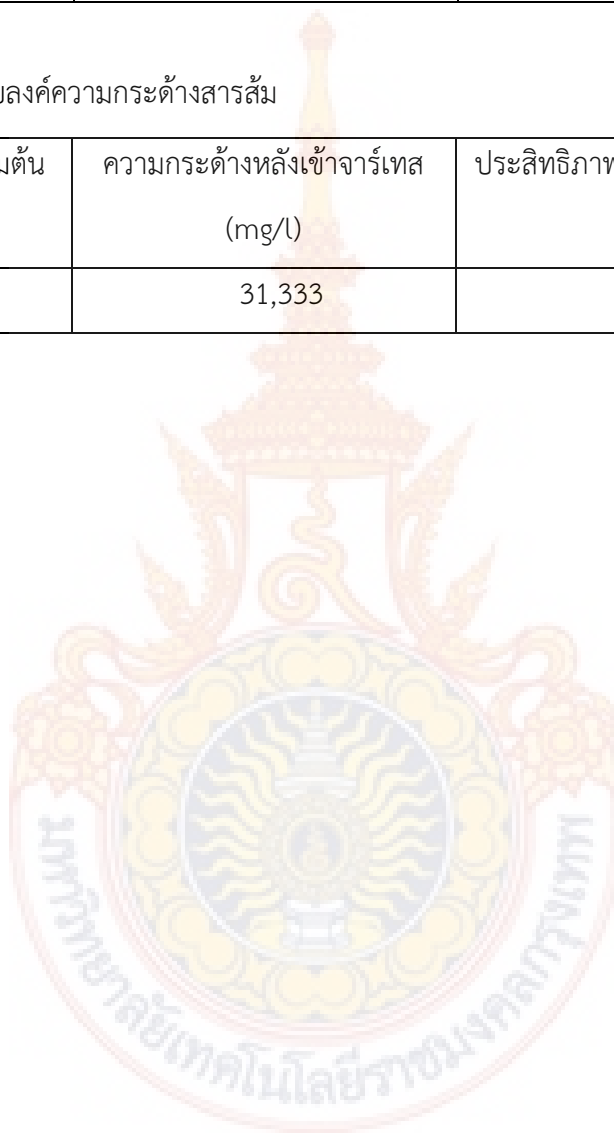
ความกระด้างเริ่มต้น (mg/l)	ความกระด้างหลังเข้าจาร์เทศ (mg/l)	ประสิทธิภาพการลด ความกระด้าง (%)
600.00	586.67	2.22
300.00	273.33	8.89
160.00	133.00	16.88
80.00	60.00	25.00

ตารางที่ ข.7 แบลงค์ความขุ่นสารส้ม

ความขุ่นเริ่มต้น (NTU)	ความขุ่นหลังเข้าจาร์เทศ (NTU)	ประสิทธิภาพการลดความขุ่น (%)
1,555.00	47.20	96.96

ตารางที่ ข.8 แบลงค์ความกระด้างสารส้ม

ความกระด้างเริ่มต้น (mg/l)	ความกระด้างหลังเข้าจาร์เทศ (mg/l)	ประสิทธิภาพการลดความกระด้าง (%)
32,400.00	31,333	3.29



ภาคผนวก ค

วิธีการคำนวณทางสถิติ

บทนี้กล่าวถึงวิธีการคำนวณทางสถิติ การคำนวณค่าประสิทธิภาพการลดความชื้นและค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้างตามการทดลองแบบลาตินสแควร์

ค.1 การออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์

เนื่องจากการทดลองนี้มีตัวแปร 3 ตัวแปรที่น่าจะมีผลต่อค่าประสิทธิภาพการลดความชื้นและประสิทธิภาพการลดความกระด้างของน้ำผิวดินสังเคราะห์ คือ ความชื้น ความกระด้างและชนิดพืช โดยแต่ละตัวแปรมี 4 ค่า ดังนั้นจะต้องทำการทดลองถึง 64 ครั้ง ซึ่งแต่ละการทดลองนั้นใช้เวลานานมาก ดังนั้นจึงได้เลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์ เข้ามาช่วยลดจำนวนครั้งของการทดลองให้คงเหลือการทดลองเพียง 16 ครั้ง และเนื่องจากมีตัวแปรทั้งหมด 3 ตัว ในการทดลองซึ่งสามารถจัดแผนการทดลองเข้ากับการทดลองดังกล่าวได้ โดยแต่ละแถวแนวนอนหรือแถวแนวตั้งเป็นตารางที่สมบูรณ์ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ ค.1 โดยการวิเคราะห์แบบนี้สามารถถึงความแตกต่างเนื่องจากแถวแนวนอนหรือแถวแนวตั้งออกจากความคลาดเคลื่อนได้

ตารางที่ ค.1-1 แผนผังการออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์

ความกระด้าง เริ่มต้น (mg/l)	ความขุ่นเริ่มต้น (NTU)			
	500	250	125	62.5
600	A1	A2	A3	A4
300	A5	A6	A7	A8
150	A9	A10	A11	A12
75	A13	A14	A15	A16

ตารางที่ ค.1-2 ประสิทธิภาพการลดความขุ่น (%)

ความกระด้าง (mg/l)	ความขุ่น(NTU)			
	500	250	125	62.5
600	85.76	94.25	65.37	36.82
300	85.34	61.33	88.49	44.35
150	89.07	78.90	43.80	83.63
75	93.61	80.49	55.74	-171.24

ตารางที่ ค.1-3 ประสิทธิภาพการลดความกระด้าง (%)

ความกระด้าง เริ่มต้น (mg/l)	ความขุ่นเริ่มต้น (NTU)			
	500	250	125	62.5
600	27.6	57.32	10.91	23.43
300	29.09	68.15	60.51	27.0
150	22.96	49.33	28.78	68.88
75	77.82	46.0	56.92	61.11

ค.2 การคำนวณค่าความแปรปรวนสำหรับตารางลาตินสแควร์

นำข้อมูลจากตารางที่ ค.1-2 และ ค.1-4 มาคำนวณค่าต่างๆ ดังแสดงผลที่ได้จากการคำนวณในตารางที่ ค.2-1, ค.2-2, ค.2-3, ค.2-4, ค.2-5 และ ค.2-6 ตามลำดับ ดังนี้

ตารางที่ ค.2-1 ผลรวมในแต่ละ Column และ Row ของค่าประสิทธิภาพการลดความขุ่น

(Row i)	(Column j)				Row Total
ความกระด้าง	ความขุ่นเริ่มต้น (NTU)				
เริ่มต้น(mg/l)	500	250	125	62.5	
600	85.76	94.25	65.37	36.82	282.20
300	85.34	61.33	88.49	44.35	279.51
150	89.07	78.90	43.80	83.63	295.40
75	93.61	80.49	55.74	-171.24	58.60
Xj Column	353.78	314.97	253.400	-6.44	915.71
Total					

ตารางที่ ค.2-2 ผลรวมในแต่ละ Column และ Row ของค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้าง

(Row i)	(Column j)				Row Total
ความกระด้าง	ความขุ่นเริ่มต้น (NTU)				
เริ่มต้น(mg/l)	500	250	125	62.5	
600	27.60	57.32	10.91	23.43	119.26
300	29.09	68.15	60.51	27.00	184.75
150	22.96	49.33	28.78	68.88	169.95
75	77.82	46.0	56.92	61.11	241.85
Xj Column	157.47	220.80	157.12	180.42	715.81
Total					

ตัวอย่างการคำนวณ (ค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้าง)

$$\text{ผลรวมตาม Column ที่ 1} = 27.6 + 29.09 + 22.96 + 77.82 = 157.47$$

$$\text{ผลรวมตาม Row ที่ 1} = 27.6 + 57.32 + 10.91 + 23.43 = 119.26$$

หมายเหตุ การหาผลรวมของค่าประสิทธิภาพการลดความขุ่นและค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้างของการทดลองอื่นมีลักษณะการคำนวณคล้ายกัน ผลการคำนวณแสดงดังตาราง ค.2-1 และ ค.2-2

ตารางที่ ค.2-3 ผลรวมและค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองของค่าประสิทธิภาพการลดความขุ่น

	สารสกัดจากเมล็ดพืช			
	มะรุม	มะขาม	ข้าวโพด	ถั่วเขียว
ผลรวม = $\sum X_p$	19.65	359.98	279.28	256.80
ผลรวมเฉลี่ย = $\bar{X}_p$	4.91	89.99	69.82	64.20

ตารางที่ ค.2-4 ผลรวมและค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองของค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้าง

	สารสกัดจากเมล็ดพืช			
	มะรุม	มะขาม	ข้าวโพด	ถั่วเขียว
ผลรวม = $\sum X_p$	185.64	264.53	106.87	158.77
ผลรวมเฉลี่ย = $\bar{X}_p$	46.41	66.13	26.72	39.69

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ผลรวมสารสกัดเมล็ดมะขาม} = 57.32 + 60.51 + 68.88 + 77.82 = 264.53$$

$$\text{ผลรวมเฉลี่ยของสารสกัด} = 264.53 / 4 = 66.13$$

หมายเหตุ การหาผลรวมและผลรวมเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพการลดความขุ่นและค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้างของการทดลองอื่นมีลักษณะการคำนวณคล้ายกัน ผลการคำนวณแสดงดังตาราง ค.2-3 และ ค.2-4

ตารางที่ ค.2-5 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนประสิทธิภาพการลดลงของค่าความชุ่ม

Sort of variance (SOV)	Degree of freedom (df)	Sum of square (SS)	Mean square (MS)	F	F _{0.1}
Row(กระด้าง)	3	9,706.65	3,235.55	1.25	3.29
Column(ชุ่ม)	3	19,747.05	6,582.35	2.54	3.29
ชนิดพืช	3	16,071.02	5,357.00	2.07	3.29
Error	6	15,518.60	2,586.43		
รวม	15	61,043.32			

จากการวิเคราะห์ทางสถิติตารางลาตินสแควร์สามารถหาค่าความแปรปรวนของค่าประสิทธิภาพการลดความชุ่มจะได้ค่า F ซึ่งได้จากการคำนวณ กับค่า F_{0.1} ซึ่งได้จากการเปิดตาราง ณ ความมั่นใจที่ 90 เปอร์เซนต์ พบว่าค่า F ความชุ่มเริ่มต้น สารสกัดเมล็ดพืชมีค่าน้อยกว่าค่า F_{0.1} แสดงว่าค่าประสิทธิภาพการลดความชุ่มเนื่องจากความกระด้างเริ่มต้น ความชุ่มเริ่มต้น สารสกัดเมล็ดพืช ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่ากระด้างเริ่มต้น ความชุ่มเริ่มต้น สารสกัดเมล็ดพืชให้ผลต่อประสิทธิภาพการลดความชุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ ค.2-6 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนประสิทธิภาพการลดลงของค่าความกระด้าง

Sort of variance (SOV)	Degree of freedom (df)	Sum of square (SS)	Mean square (MS)	F	F _{0.1}
Row(กระด้าง)	3	1,908.48	636.16	8.92*	3.29
Column(ชุ่ม)	3	672.88	224.29	3.15	3.29
ชนิดพืช	3	3,242.86	1,080.95	15.16*	3.29
Error	6	427.84	71.31		
รวม	15	6,252.07			

จากการวิเคราะห์ทางสถิติตารางลาตินสแควร์สามารถหาค่าความแปรปรวนของค่าประสิทธิภาพการลดความชื้นจะได้ ค่า F ซึ่งได้จากการคำนวณ (รายละเอียดการคำนวณดูได้จากภาคผนวก ค) กับค่า $F_{0.1}$ ซึ่งได้จากการเปิดตาราง ณ ความมั่นใจที่ 90 เปอร์เซนต์ พบว่าค่า F ความกระด้างเริ่มต้น สารสกัดเมล็ดพืชมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.1}$ แสดงว่าค่าความแตกต่างประสิทธิภาพการลดความกระด้างเนื่องจากความกระด้างเริ่มต้น สารสกัดเมล็ดพืช อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความชื้นเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าค่า $F_{0.1}$ แสดงว่าค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้างเนื่องจากความชื้นเริ่มต้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่าความกระด้างเริ่มต้น สารสกัดเมล็ดพืชไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการลดความกระด้างที่แตกต่างมาก ดังนั้นการวิเคราะห์ขั้นต่อไปจะใช้การเปรียบเทียบแบบ Orthogonal comparison

หมายเหตุ

df ของ Row	= จำนวน Row - 1	= 4-1=3
df ของ Column	= จำนวน Column -1	= 4-1=3
df ของ สารสกัดจากเมล็ดพืช	= จำนวนสารสกัดจากเมล็ดพืช - 1	= 4-1 =3
df ของรวม	= (จำนวน Row x จำนวน Column) - 1	
	= (4 x 4) - 1	
	= 3	
df ของ Error	= df ของรวม - ผลรวมของ df, ของ Row, ของ Column และของสารสกัดจากเมล็ดพืช	
	= 15 - (3+3+3)	
	= 6	

ค.3 การเปรียบเทียบ

การศึกษาความขุ่นและความกระด้าง ที่ให้ค่าประสิทธิภาพการลดความขุ่นและค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้างเมื่อเปรียบเทียบที่ค่าความกระด้าง ค่าความขุ่นที่ต่างกัน จะใช้การเปรียบเทียบแบบ Orthogonal comparison ซึ่งหมายถึงการให้ค่าเฉลี่ยใดๆ เกิดขึ้นครั้งเดียวในการเปรียบเทียบครั้งหนึ่งๆ ดังตารางที่ ค.3-1

ตารางที่ ค.3-1 การเปรียบเทียบ Orthogonal comparison ค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้าง

ความกระด้าง	ความขุ่น(NTU)				รวม	เฉลี่ย
(mg/l)	500	250	125	62.5		
600	27.60	57.32	10.91	23.43	119.26	29.82
300	29.09	68.15	60.51	27.00	184.75	46.19
150	22.96	49.33	28.78	68.88	169.95	42.48
75	77.82	46.0	56.92	61.11	241.85	60.46
รวม	157.47	220.80	157.12	180.42	715.81	
เฉลี่ย	39.36	55.2	39.28	45.11		

ตารางที่ ค.3-2 การคำนวณเปรียบเทียบระหว่างชนิดเมล็ดพืชของค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้าง

การเปรียบเทียบ	ผลรวมลดความกระด้าง				$\sum C^2_{ij}$	L_i	SS
ระหว่างเมล็ดพืช	มะรุม	มะขาม	ข้าวโพด	ถั่วเขียว			
	185.64	158.77	106.87	264.53			
มะรุม vs มะขาม	1	-1	0	0	2	26.87	90.25
มะรุม vs ข้าวโพด	1	0	-1	0	2	78.77	775.59
มะรุม vs ถั่วเขียว	-1	0	0	1	2	78.89	777.96
มะขาม vs ข้าวโพด	0	1	-1	0	2	51.9	336.71
มะขาม vs ถั่วเขียว	0	-1	0	1	2	105.76	1,398.15
ข้าวโพด vs ถั่วเขียว	0	0	-1	1	2	157.66	3,107.08

จากตารางที่ ค.3-2 จะเห็นว่าในการเปรียบเทียบระหว่างความเมล็ดพืชนั้นจะมีคำถามอยู่ 6 คำถาม คือ

1. เมล็ดมะรุม ให้ผลการทดลองที่มีค่าประสิทธิภาพการลดความชุนดีกว่าเมล็ดมะขาม หรือไม่
2. เมล็ดมะรุม ให้ผลการทดลองที่มีค่าประสิทธิภาพการลดความชุนดีกว่าเมล็ดข้าวโพด หรือไม่
3. เมล็ดมะรุม ให้ผลการทดลองที่มีค่าประสิทธิภาพการลดความชุนดีกว่าเมล็ดถั่วเขียว หรือไม่
4. เมล็ดมะขาม ให้ผลการทดลองที่มีค่าประสิทธิภาพการลดความชุนดีกว่าเมล็ดข้าวโพด หรือไม่
5. เมล็ดมะขาม ให้ผลการทดลองที่มีค่าประสิทธิภาพการลดความชุนดีกว่าเมล็ดถั่วเขียว หรือไม่
6. เมล็ดข้าวโพด ให้ผลการทดลองที่มีค่าประสิทธิภาพการลดความชุนดีกว่าเมล็ดถั่วเขียว หรือไม่

ตารางที่ ค.3-3 ผลการคำนวณค่าความแปรปรวนเปรียบเทียบระหว่างชนิดพืชของค่าประสิทธิภาพการลดความกระด้าง

Sort of variance (SOV)	Degree of freedom (df)	Sum of square (SS)	Mean of square (MS)	F	F _{0.1}
ชนิดพืช	3	3,242.86			
มะรุม vs มะขาม	1	90.25	90.25	0.36	3.18
มะรุม vs ข้าวโพด	1	775.59	775.59	3.09	3.18
มะรุม vs ถั่วเขียว	1	777.95	777.95	3.10	3.18
มะขาม vs ข้าวโพด	1	336.70	336.70	1.34	3.18
มะขาม vs ถั่วเขียว	1	1,398.15	1,398.15	5.58*	3.18
ข้าวโพด vs ถั่วเขียว	1	3,107.08	3107.08	12.39*	3.18
Error	12	3,009.21	250.76		
Total	21	6,252.07			

ค.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดลงของความขุ่นและความกระด้างโดยสารสกัดจากเมล็ดข้าวโพดและสารส้ม

ตารางที่ ค.4-1 ประสิทธิภาพการลดลงของความขุ่นโดยสารส้ม

ความขุ่นเริ่มต้น (NTU)	ความขุ่นหลังทดลอง (NTU)	ประสิทธิภาพการลดความขุ่น (%)
505	41.65	91.75
253	24.53	89.83
127	11.00	91.36
65	6.44	90.09

ตารางที่ ค.4-2 ประสิทธิภาพการลดลงของความกระด้างโดยสารส้ม

ความกระด้างเริ่มต้น (mg/l)	ความกระด้างหลังทดลอง (mg/l)	ประสิทธิภาพการลดความกระด้าง (%)
608	567.45	6.67
307	266.08	13.33
153	147.90	8.33
67	61.42	8.33

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการทดลองศึกษาภาวะที่เหมาะสมแบบละเอียด

เมล็ดพืชที่ใช้ มะขาม ปริมาตรสารสกัดที่ใช้ 40 mL
 พีเอชเริ่มต้น 5.00 ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้ 250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังการบำบัด	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	273.00	251.00	19.70	17.15	3.41	93.17
2			19.41			
3			12.33			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTA ที่ใช้	hardness หลังการบำบัด	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	289.27	516.55	805.82	1.50	309.93	190.09	9.74	76.41
2				1.60	330.59			
3				1.50	309.93			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std $\text{CaCO}_3 = 24.2 \text{ mL}$

pH

หมายเลข	pH ก่อนบำบัด	pH หลังบำบัด	MEAN	SD
1	5.01	5.64	5.73	0.07
2		5.73		
3		5.82		



รูปที่ ง.1 น้ำหลังปรับสภาพที่ pH 5

เมล็ดพืชที่ใช้
พีเอชเริ่มต้น

มะขาม
6.00

ปริมาตรสารสกัดที่ใช้
ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้

40 mL
250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังการบำบัด	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	273.00	251.00	33.20	37.17	3.40	85.19
2			36.80			
3			41.50			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTAที่ใช้	hardness หลังการบำบัด	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	289.27	516.55	805.82	1.60	330.59	198.36	0	75.38
2				1.60	330.59			
3				1.60	330.59			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std $\text{CaCO}_3 = 24.2 \text{ mL}$

pH

หมายเลข	pH ก่อนบำบัด	pH หลังบำบัด	MEAN	SD
1	6.03	6.44	6.36	0.06
2		6.33		
3		6.3		



รูปที่ ง.2 น้ำหลังปรับสภาพที่ pH 6

เมล็ดพืชที่ใช้
พีเอชเริ่มต้น

มะขาม
7.00

ปริมาตรสารสกัดที่ใช้
ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้

40 mL
250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังการบำบัด	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	273.00	251.00	32.20	32.47	0.19	87.07
2			32.60			
3			32.60			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTAที่ใช้	hardness หลังการบำบัด	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	289.27	516.55	805.82	1.50	309.93	181.83	9.74	77.44
2				1.40	289.27			
3				1.50	309.93			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std CaCO_3 = 24.2 mL

pH

หมายเลข	pH ก่อนบำบัด	pH หลังบำบัด	MEAN	SD
1	7.02	6.76	6.67	0.07
2		6.6		
3		6.65		



รูปที่ ๓.3 น้ำหลังปรับสภาพที่ pH 7

เมล็ดพืชที่ใช้
พีเอชเริ่มต้น

มะขาม
8.00

ปริมาตรสารสกัดที่ใช้
ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้

40 mL
250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังการบำบัด	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	273.00	251.00	30.00	30.60	2.08	87.81
2			28.40			
3			33.40			

hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTAที่ใช้	hardness หลังการบำบัด	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	289.27	516.55	805.82	1.40	289.27	185.96	16.87	76.92
2				1.60	330.59			
3				1.50	309.93			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std CaCO_3 = 24.2 mL

pH

หมายเลข	pH ก่อนบำบัด	pH หลังบำบัด	MEAN	SD
1	8.04	6.65	6.60	0.03
2		6.58		
3		6.58		



รูปที่ ๔.4 น้ำหลังปรับสภาพที่ pH 8

เมล็ดพืชที่ใช้
พีเอชเริ่มต้น

มะขาม
9.00

ปริมาตรสารสกัดที่ใช้
ปริมาตรน้ำดิบสังเคราะห์ที่ใช้

40 mL
250 mL

Turbidity (NTU)

หมายเลข	ความขุ่นเริ่มต้น	ความขุ่นหลังผสมสารสกัด	ความขุ่นหลังการบำบัด	MEAN	SD	%ลดลงความขุ่น
1	273.00	251.00	84.90	88.83	3.18	64.61
2			88.90			
3			92.70			

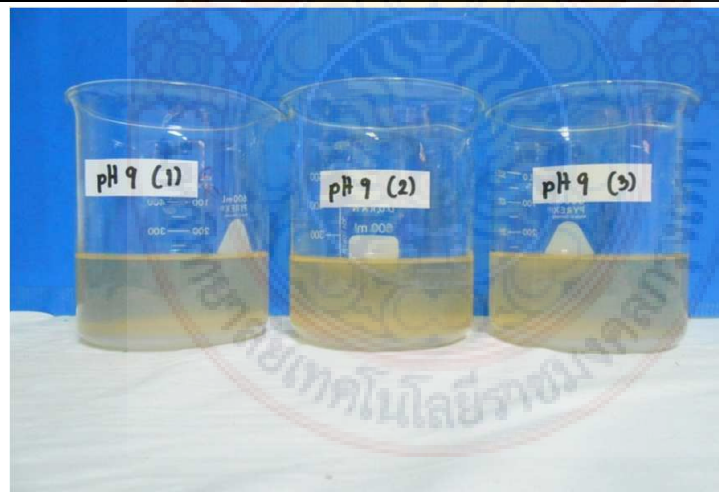
hardness (mg/L)

หมายเลข	hardness น้ำดิบ	hardness สารสกัด	hardness รวม	ปริมาตร EDTAที่ใช้	hardness หลังการบำบัด	MEAN	SD	%ลดลงความกระด้าง
1	289.27	516.55	805.82	1.50	309.93	185.96	0	76.92
2				1.50	309.93			
3				1.50	309.93			

หมายเหตุ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 mL , ปริมาตร EDTA ที่สมมูลกับปริมาตรของสารละลาย std CaCO_3 = 24.2 mL

pH

หมายเลข	pH ก่อนบำบัด	pH หลังบำบัด	MEAN	SD
1	9.02	7.18	7.13	0.04
2		7.13		
3		7.08		



รูปที่ ๔.5 น้ำหลังปรับสภาพที่ pH 9

ภาคผนวก จ

ความน่าจะเป็นแบบเอฟ $\alpha = 0.1$ ($F_{0.1}$)

ตารางที่ จ.1 ตารางความน่าจะเป็นแบบเอฟ

$\nu_1 \backslash \nu_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86
2	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38
3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24
4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94
5	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32
6	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96
7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72
8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56
9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44
10	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35
11	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27
12	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.23	2.28	2.24	2.21
13	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16
14	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อนางปทุมทิพย์ ปราบพาล

Mrs. Pathumthip Prabphane

2. รหัสประจำตัวนักวิจัย 00012505

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

โทรศัพท์ 0 2287 9734, 0 2286 3991 – 5, 1210, 1201 โทรสาร 0 2287 9734

e-mail : pathumthip.t@mutk.ac.th, tpathumthip@hotmail.com, tpathumthip@yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อ ปริญญา และชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบัน การศึกษา	ประเทศ
2545	เอก	วศ.ด. วิศวกรรมศาสตรดุษฎี บัณฑิต	วิศวกรรมเคมี	วิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอม เกล้าธนบุรี	ไทย
2538	โท	วท.ม. วิทยาศาสตร มหาบัณฑิต	เคมีเทคนิค	เคมีเทคนิค	จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย	ไทย
2531	ตรี	วท.บ. วิทยาศาสตรบัณฑิต	เคมี	เคมี	มหาวิทยาลัย เชียงใหม่	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

การดูดซับ การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุ
สถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัย
ในแต่ละผลงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

-

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

ลำดับที่	ชื่อโครงการวิจัย	แหล่งทุน	ปีงบประมาณ
1	การพัฒนากระถางต้นไม้จากโยมะพร้าว	เครือข่ายงานวิจัยภาคกลาง ตอนล่าง	2547
2	การสกัดสารนิมบินจากเมล็ดสะเดา	งบประมาณผลประโยชน์	2548
3	กระถางต้นไม้จากร่วงจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	งบประมาณผลประโยชน์	2548
4	การผลิตกระถางเพาะชำจากธรรมชาติ	งบประมาณผลประโยชน์	2548
5	กระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	งบประมาณแผ่นดิน	2548
6	สกัดสารออกฤทธิ์จากฟ้าทะลายโจรด้วย คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด	งบประมาณแผ่นดิน	2549
7	การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากไม้กฤษณา	งบประมาณแผ่นดิน	2550
8	การพัฒนาการผลิตน้ำอบไทย	งบประมาณแผ่นดิน	2551
9	การพัฒนาวิธีการอบควันเทียน	งบประมาณผลประโยชน์	2551
10	การสกัดน้ำมันจากเมล็ดชะมดต้น (<i>Hibiscus abelmoschus</i> Linn.)	งบประมาณแผ่นดิน	2552
11	การผลิตรูปหอมจากสารธรรมชาติเพื่อศึกษาสารก่อ มะเร็งในควันธูป	งบประมาณแผ่นดิน	2554
12	การผลิตลูกหอมสมุนไพรไล่แมลงและขจัดกลิ่นอับ	งบประมาณแผ่นดิน	2555

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน
(อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, มาริสา จินะดิษฐ์, สุรัตน์ บุญพึ้งและจิรพล กลิ่นบุญ. “การ
พัฒนากระถางต้นไม้จากโยมะพร้าว” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเครือข่าย
ภูมิภาคกลางตอนล่าง ประจำปีงบประมาณ 2547.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง. “การสกัดสารนิมบินจากเมล็ดสะเดา” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับ
ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, สุรัตน์ บุญพึ้ง, มาริสา จินะดิษฐ์ และ วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์.
“การผลิตกระถางเพาะชำจากธรรมชาติ” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณ
ผลประโยชน์ ปี 2548.

สุรัตน์ บุญพึง และปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง. “การสกัดสารออกฤทธิ์ทางยาจากทองพันชั่ง” (ผู้ร่วมวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548.

พรประสิทธิ์ คงบุญ, ปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง, มณฑล ชูโซนา และสมจิตร สุขสวัสดิ์. “การกลั่นเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์” (ผู้ร่วมวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548.

ปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง, สุรัตน์ บุญพึง, มาริสา จินะดิษฐ์, วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์, ไชยยันต์ ไชยยะ และฉันทมณี วงสะจันทานนท์. “กระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2548.

ปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง, โสริยา ชินอม, สุรัตน์ บุญพึง, มาริสา จินะดิษฐ์, ไชยยันต์ ไชยยะ และฉันทมณี วงสะจันทานนท์. “กระถางต้นไม้ทำจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548.

มาริสา จินะดิษฐ์ และปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง. “การผลิตกระถางต้นไม้จากเศษใบไม้” (ผู้ร่วมวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2549.

ปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง และมาริสา จินะดิษฐ์. “สกัดสารออกฤทธิ์จากฟ้าทะลายโจรด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2549.

ปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง, มาริสา จินะดิษฐ์, ไชยยันต์ ไชยยะ และชัชวาลย์ สุขมัน. “การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากไม้กฤษณา” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2550.

ปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง และนันทวัน กลิ่นจำปา. “พัฒนาการผลิตน้ำอบไทย” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2551

ปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง, นันทวัน กลิ่นจำปา และไชยยันต์ ไชยยะ. “การพัฒนาวิธีการอบควันเทียน” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2551

ปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง และนันทวัน กลิ่นจำปา. “การสกัดน้ำมันจากเมล็ดชะมดต้น (*Hibiscus abelmoschus* Linn.)” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2552

ปทุมทิพย์ ตันทับทิมทอง, ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์, ขนิษฐา เจริญลาภ, อรุณี สุรัตน์พิพิธ, สุชาติ วิเชียรสรรค์, วรณดี แสงดี, สมรรถ ปรีกลาง, ทวีป ณ ระนอง, ยุทธการ ชันเงิน, ดารานัย รบเมือง, จิตตานันท์ รังสิมันตุชาติ, เบญจวรรณ ประภักดี, งามอาจ พฤษประมุข, เจนจิรา รุธิโรโก, จุฑาธิป อยู่เย็น, ศรินธร สุกสอาด และกมลพร จุดจอนสิน “การจัดการน้ำเสียเชิงบูรณาการในตลาดน้ำอโยธยา ” (ผู้ร่วมงานวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2553

International Journal

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S., Douglas, P. and Luewisuttichat, W., Wittaya Teppaitoon and La-eid Pengsopa. 2004. “Nimbin Extraction from Neem Seeds using Supercritical CO₂ and a Supercritical CO₂ -Methanol Mixture” **Journal of Supercritical fluids**. 30: 287-301. (ผู้วิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S., Douglas, P. and Luewisuttichat, W. 2001. “Supercritical CO₂ Extraction of Nimbin from Neem Seeds-an Experimental Study” **Journal of Food Engineering**. 47: 289-293. (ผู้วิจัย)

International & Regional Conference

Tonthubthimthong, P., Ajchariyapagorn, A., Douglas, S., Douglas, P. L. and Pongamphai, S. 2005. “Simulation of Nimbin Extraction by Using Aspen Plus” **the 88th Canadian Chemistry Conference and Exhibition**. May 28-June 1. Saskatoon Centennial Convention Centre Saskatoon Saskatchewan Canada. (ผู้ร่วมวิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chinadit, M., Boonpong, S., Supanya, C., Tanuwong, S. and Tanakulrungsank, W. 2005. “Cultivate Flowerpot Production from Agricultural Waste Materials”, **The 3rd EMSES International Symposium Eco-Energy and Material Science and Engineering Symposium**. April 6-9. Lotus Hotel Pang Suan Kaew Chiangmai Thailand. (ผู้วิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S., Douglas, P., Luewisuttichat, W., Teppaitoon, W. and Pengsopa, L. 2002. “Nimbin Extraction from Neem Seed using Supercritical CO₂ and a Supercritical CO₂ – Methanol Mixture” **International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering**. December 11 – 13. AIT Thailand. (ผู้วิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S., Douglas, P., Luewisuttichat, W., Teppaitoon W. and Pengsopa, L. 2001. “Effect of Particle Size, Methanol:CO₂ Ratio and Temperature on Nimbin Extraction from Neem Seeds using Supercritical CO₂” **Canadian Society for Chemical Engineering 2001 Conference**. October 17. Halifax Nova Scotia Canada. (ผู้วิจัย)

Tonthubthimthong, P., Chuaprasert, S. and Luewisuttichat, W. 1999. “Extraction of Medicinal Substances from Neem Seeds using Supercritical Fluid

Extraction-A Preliminary Study” **Regional Symposium on Chemical Engineering 1999.**
November 22-24. B.P. Smilar Beach Hotel Songkla Thailand. (ผู้วิจัย)

Local Conference

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง นันทวัน กลิ่นจำปาและอนุพันธ์ ดอนชัย. 2552. “การพัฒนาการผลิตน้ำอบไทยด้วยชุดอุปกรณ์ดูดควันเครื่องร่ำ” **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 3 “การพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในยุคเศรษฐกิจสร้างสรรค์”.** 24-26 พฤศจิกายน 2553. ศูนย์ประชุมสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ กรุงเทพฯ.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และนันทวัน กลิ่นจำปา. 2552. “การพัฒนาการผลิตน้ำอบไทย” **การประชุมวิชาการชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการ อพ.สธ. ครั้งที่ 4. “ทรัพยากรไทย : ผืนสู่วิถีใหม่ในฐานไทย”.** 20-22 ตุลาคม 2552. สวนสัตว์เปิดเขาเขียว ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา. จังหวัดชลบุรี. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง นันทวัน กลิ่นจำปาและไชยยันต์ ไชยยะ. 2552. “การดูดซับควันเครื่องร่ำด้วยถ่านกัมมันต์” **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 2 “งานวิจัยที่เน้นการปฏิบัติจริง จากมหาวิทยาลัยสู่สังคม”.** 23-28 สิงหาคม 2552. โรงแรมฮอลิเดย์ อินน์ จังหวัดเชียงใหม่. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง. 2551. “การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากไม้กฤษณา” **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 1 “ถ่ายทอดงานวิจัยสู่สังคม เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน”.** 27-29 สิงหาคม. โรงแรมธรรมรินทร์ ธนา จังหวัดตรัง. (ผู้วิจัย)

เจษฎา มณีพงษ์สวัสดิ์, สุชาติ วาสิกบุตร, ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และมาริสา จินะดิษฐ์. 2550. “การสกัดสารออกฤทธิ์ทางยาจากฟ้าทะลายโจรด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด” **การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 45 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** 30 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, มาริสา จินะดิษฐ์, สุรัตน์ บุญพึง, วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์, ธิติรัตน์ มานิตย์ และอุษาวดี ไม้คง. 2548. “การผลิตกระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร” **การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 21.** 28-30 มีนาคม. โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. (ผู้วิจัย)

ชัชวาลย์ สุขมัน, ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, กฤษณ์ หวังเจริญกุลชัย และ คมเดช งามสมจิตร. 2548. “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไวน์สละระแนง” **การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 21.** 28-30 มีนาคม. โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. (ผู้ร่วมวิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, จุฬาลักษณ์ จีระรัตนกุล และ ประทุมรัตน์ แสนพล. 2547. “การปรับปรุงคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังโดยการตัดแปรแป้งด้วยสารโซเดียมไธโพลีฟอสเฟต” การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 20. 11-13 กุมภาพันธ์. โรงแรมอมรินทร์ ลาภูน อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, สุภาภรณ์ เชื้อประเสริฐ, วิไล ลือวิสุทธิชาติ, วิทยา เทพไพฑูรย์ และละเอียด เพ็งโสภา. 2546. “การสกัดนิมบินจากเมล็ดสะเดาโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดและคาร์บอนไดออกไซด์-เมทานอลวิกฤตยิ่งยวด” การประชุมวิชาการและงานแสดงผลผลิตภัณฑ์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29. 20-22 ตุลาคม. ศูนย์ประชุมเอนกประสงค์กาญจนาภิเษก มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, สุภาภรณ์ เชื้อประเสริฐ, วิไล ลือวิสุทธิชาติ, วิทยา เทพไพฑูรย์ และ ละเอียด เพ็งโสภา. 2545. “การสกัดนิมบินจากเมล็ดสะเดาโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด : ผลของขนาดอนุภาค, อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อคาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิ” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12. 8-9 พฤศจิกายน. โรงแรมโซล ทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพฯ. (ผู้วิจัย)

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, สุภาภรณ์ เชื้อประเสริฐ และ วิไล ลือวิสุทธิชาติ. 2543. “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารนิมบินจากเมล็ดสะเดาโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10. 26-28 ตุลาคม. ไบเทค บางนา กรุงเทพฯ. (ผู้วิจัย)

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และนันทวัน กลิ่นจำปา “การผลิตธูปหอมจากสารธรรมชาติเพื่อศึกษาสารก่อมะเร็งในควันธูป ” (หัวหน้าโครงการ)ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2554 ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณ 90 %

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และชนิษฐา เจริญลาภ “การมีส่วนร่วมระหว่างชุมชนและโรงเรียนในการอนุรักษ์แหล่งน้ำ ” (ผู้ร่วมงานวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณ 90 %

ประวัติผู้ร่วมงานวิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล นางชนิษฐา เจริญลาภ

Mrs Khanittha Charoenlarp

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน xxxxxxxxxxxxx

3. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์

4. หน่วยงานที่อยู่ ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ

2 ถนนนางลิ้นจี่ ทุ่งมหาเมฆ สาทร กรุงเทพฯ 10120

E-mail Khanit_C@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	สถานศึกษา	สาขาวิชาเอก	ปริญญา	ปีที่จบ
ปริญญาตรี	ม.ศิลปากร	เคมี	วท.บ.	2529
ปริญญาโท	ม.เกษตรศาสตร์	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	วท.ม.	2539

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

การบำบัดน้ำเสียสิ่งทอ

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย

- (1) การกำจัดสีดีสเพิร์ส สีไดเร็กซ์ และสีรีแอคทีฟจากน้ำเสียย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี (งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ.2544)
- (2) การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอกติเวเต็ดเต็ดสลัดจ์และระบบตกตะกอนทางเคมี (งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ.2545)
- (3) อิทธิพลของยีสต์ต่อการลอกแบ่งด้วยเอนไซม์ (สกว. พ.ศ.2546)
- (4) การพัฒนาการจัดการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมสี (งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ.2547)
- (5) การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของห้างหุ้นส่วนจำกัด เจริญชัยการย้อมให้อยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งโดยมีค่าใช้จ่ายลดลง (สกว. พ.ศ. 2547)
- (6) การบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับโรงงานฟอกย้อม (งบผลประโยชน์พ.ศ. 2548)
- (7) การนำน้ำย้อมกลับมาใช้ใหม่โดยการกำจัดสีด้วยโอโซน (งบประมาณแผ่นดินพ.ศ. 2549)
- (8) ผลของโลหะในน้ำต่อกระบวนการย้อม (งบประมาณแผ่นดินพ.ศ. 2550)
- (9) ผลของโลหะไอออนในน้ำต่อกระบวนการฟอกผ้าฝ้ายถัก(งบผลประโยชน์ พศ. 2550)
- (10) การอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรป่าชายเลนอำเภอขลุ้ง จังหวัดจันทบุรี (งบผลประโยชน์ พศ. 2550)
- (11) การนำน้ำย้อมกลับมาใช้ใหม่โดยการกำจัดสีด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี (งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ. 2551)
- (12) การบำบัดน้ำเสียโรงงานทอผ้าด้วยเครื่องวอเตอร์เจ็ตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (งบประมาณแผ่นดินพ.ศ. 2552)
- (13) ประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิก (งบประมาณแผ่นดินพ.ศ. 2553)
- (14) การบำบัดน้ำเสียอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยเครื่องจักรชีวภาพ (งบวิจัยทุนนวัตกรรม พ.ศ.2553)

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

- (1) การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ (สกว. พ.ศ.2545)
- (2) แนวทางการมีส่วนร่วมในการจัดการน้ำเสีย ตลาดน้ำลำพญา จังหวัดนครปฐม (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, พ.ศ.2553)

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว: ชื่อผลงานวิจัย ปีที่ตีพิมพ์ การเผยแพร่

- ชนิษฐา เจริญลาภ. 2001. การกำจัดสีดีสเพิร์ส สีไดเร็กซ์ และสีรีแอคทีฟ จากน้ำทิ้งย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. *Textile Journal:Colour way*, 7(34): 32-38.
- บุญศรี คู่สุขธรรม, ชนิษฐา เจริญลาภ, และสมชาย อุดร. 2003. การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ตอน 1. *Textile Journal:Colour way*, 8(45): 18-20.
- บุญศรี คู่สุขธรรม, ชนิษฐา เจริญลาภ, และสมชาย อุดร. 2003. การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ . *Textile Journal:Colour way*, 8(46): 47-50.
- ชนิษฐา เจริญลาภ. 2003. ระบบน้ำใช้ในอุตสาหกรรม. *Textile Journal:Colour way*, 9(47) : 23-26
- ชนิษฐา เจริญลาภ. 2003. แนวทางการเลือกใช้สารเคมี. *Textile Journal:Colour way*, 9(47) : 65-67
- ชนิษฐา เจริญลาภ, พริยะ แก่นทับทิม. 2003. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอคติเวตเต็ดสไลต์และระบบตกตะกอนทางเคมี . *Textile Journal:Colour way*, 10(47).
- ชนิษฐา เจริญลาภ, พริยะ แก่นทับทิม. 2003. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอคติเวตเต็ดสไลต์และระบบตกตะกอนทางเคมี . *Textile Journal:Colour way*, 11(47).
- ชนิษฐา เจริญลาภ. 2005. อิทธิพลของยีสต์ต่อการลอกแป้งด้วยเอนไซม์. *Textile Journal:Colour way*, 10(48): 40-45
- ชนิษฐา เจริญลาภ. 2005. การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมให้อยู่ในมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมโดยมีค่าใช้จ่ายลดลง *Textile Journal:Colour way*, 11(48): 84-88.
- Charoenlarp, K., Narongchai, C., and Numphet, J., 2009, "Effects of metal in water on cotton knitted bleaching process", The commemorative international conference of the occasion of the 4th cycle anniversary of KMUTT sustainable development to save the earth: Technologies and strategies vision 2050

(SDSE2008), Millennium Hilton Bangkok Hotel, Bangkok, Thailand. 7-9 April 2009, pp 364-366.

Charoenlarp, K and Choyphan,W. 2009. Reuse of dye wastewater through colour removal with electrocoagulation process. As.J. Energy Env. 10(04), 250-260.

Charoenlarp,K., Thongpob,K., Matmoosaw, K., Kaewkhew,W., and Lanchakawin,S. 2010. Treatment of textile industrial wastewater from water jet loom machine, Journal of chemistry and chemical engineering. 4(05), 23-28.

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอโครงการ แหล่งทุน และสถานภาพในการวิจัย

ชื่อโครงการ การมีส่วนร่วมระหว่างชุมชนและโรงเรียนในการอนุรักษ์แหล่งน้ำ

แหล่งทุน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการ

อยู่ระหว่าง การดำเนินงาน

