บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การทดลองหาชนิดและปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม

ในการทดลองใช้โคแอกกูแลนต์จากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งเป็นเมล็ดพืช 5 ชนิด ได้แก่ เมล็ดมะรุม กระเจี๊ยบแดง ถั่วแดง ถั่วลิสง และมะขาม โดยนำมาทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม โดยใช้วิธีจาร์เทสต์ และการหาค่าดัชนีการกรอง

จากผลการทดลองพบว่า เมล็ดพืชที่นำมาทดลองทั้ง 5 ชนิด สามารถเป็นได้ทั้งโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม ซึ่งผลการทดลองแยกพิจารณาเป็นกรณีได้ดังนี้คือ

4.1.1 การทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ โดยการทดลองจาร์เทสต์

โดยทั่วไปแล้ว ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการทำจาร์เทสต์จะมีค่าต่ำลงเมื่อใช้โคแอกูแลนต์ธรรมชาติในปริมาณที่สูงขึ้น โดยจะมีปริมาณที่เหมาะสม (Optimum dose) อยู่ช่วงหนึ่ง และการเติมโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติในปริมาณที่มากเกินพอ ก็กลับจะทำให้น้ำมีความขุ่นสูงขึ้น เช่นเดียวกับการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ ผลการทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิด(ดูในตาราง ก-1 ถึง ก-6 ของภาคผนวก ก) สรุปไว้ในตารางที่ 4-1 และแสดงผลเปรียบเทียบในลักษณะของกราฟเชิงเส้นได้ดังรูปที่ 4-1 ถึง 4-4 สำหรับน้ำดิบระดับความขุ่น 50, 100,200 และ 300 NTU ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้โคแอกกูแลนต์แต่ละชนิด แสดงในตารางที่ 4-2 ซึ่งประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของน้ำและปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมของโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิดเมื่อพิจารณาในแต่ละช่วงความขุ่นสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4-1 ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม ที่แต่ละระดับความขุ่น โดยการทดลองจาร์เทสต์

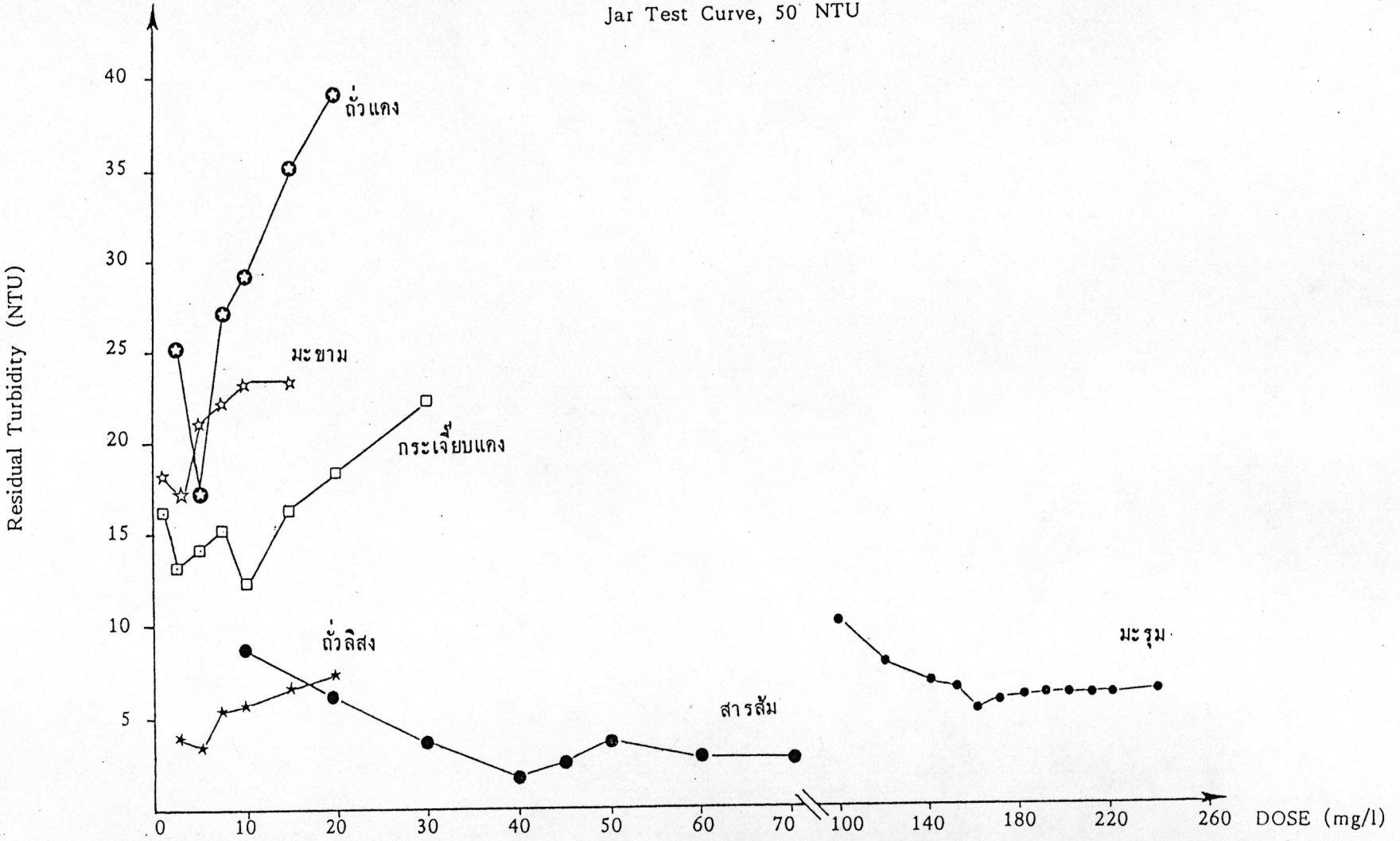
ระดับความขุ่น (NTU)	ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม (มก./ล.)					
	ชนิดของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้					
	สารส้ม	มะรุม	กระเจี๊ยบแดง	ถั่วแดง	ถั่วลิสง	มะขาม
50	40	160	10	5	5	2.5
100	45	200	20	5	5	2.5
200	80	210	20	5	5	2.5
300	135	220	30	7.5	5	2.5

ตารางที่ 4-2 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น เมื่อใช้โคแอกกูแลนต์ชนิดต่าง ๆ ในปริมาณที่เหมาะสม สำหรับการทดลองจาร์เทสต์

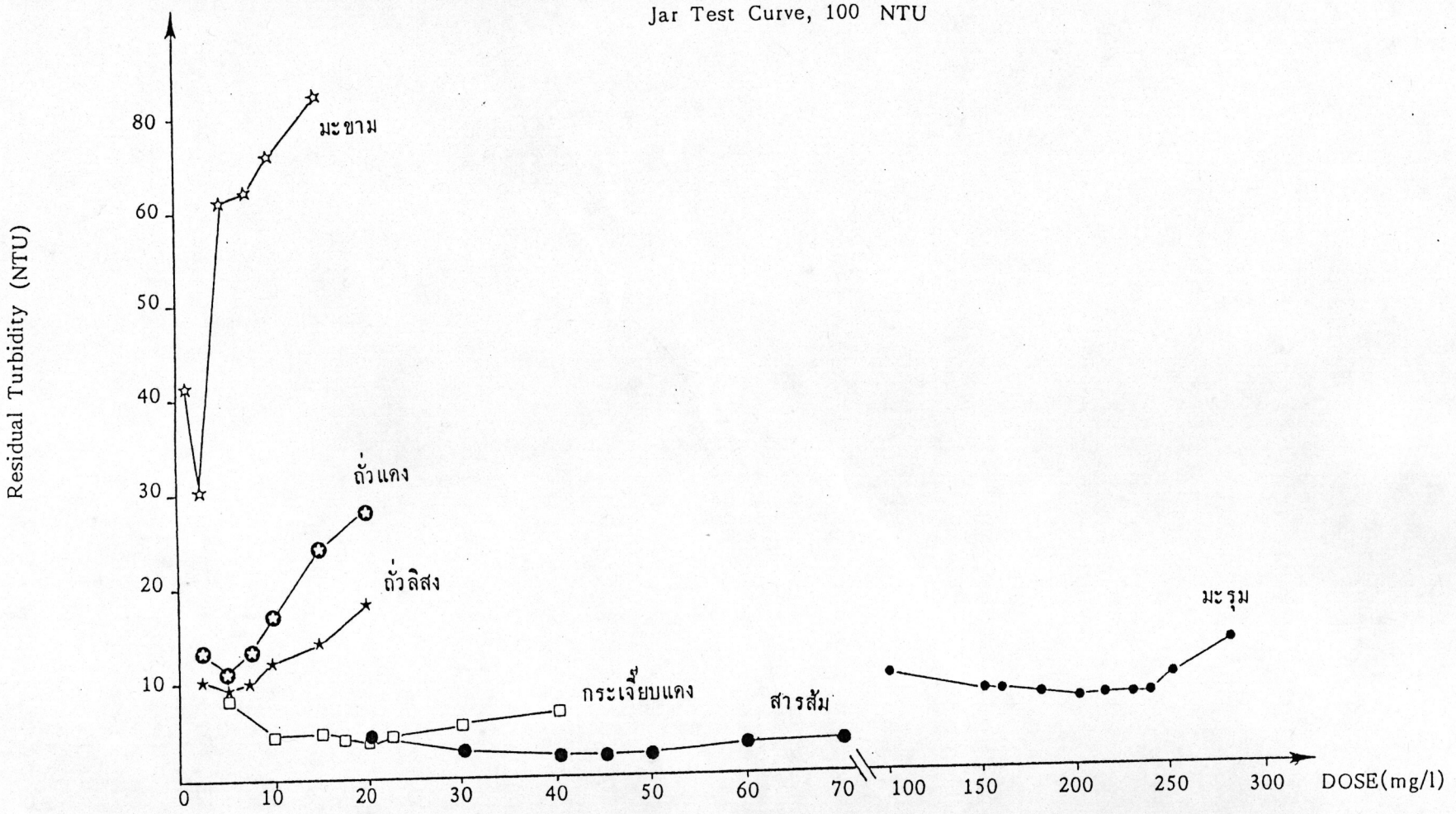
ระดับความขุ่น (NTU)	ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม(%)					
	ชนิดของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้					
	สารส้ม	มะรุม	กระเจี๊ยบแดง	ถั่วแดง	ถั่วลิสง	มะขาม
50	96.8	89.6	76.0	66.0	93.0	66.0
100	98.0	92.7	96.0	98.0	90.9	70.0
200	98.7	98.7	98.4	94.0	97.1	85.0
300	99.1	97.8	96.7	96.9	98.8	84.7

หมายเหตุ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น (%)

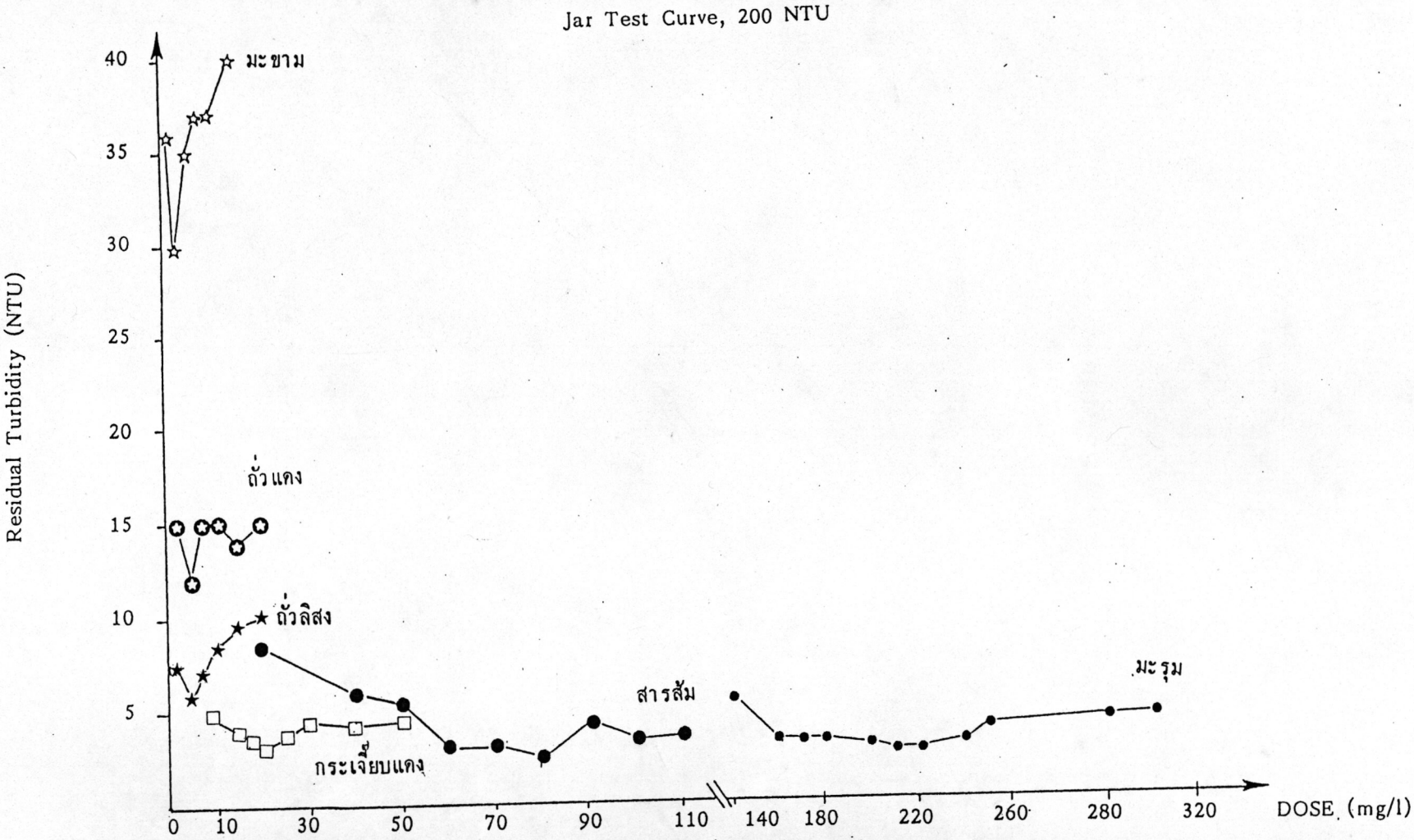
$$= \frac{(\text{ความขุ่นเริ่มแรก} - \text{ความขุ่นตกค้าง})}{\text{ความขุ่นเริ่มแรก}} \times 100$$



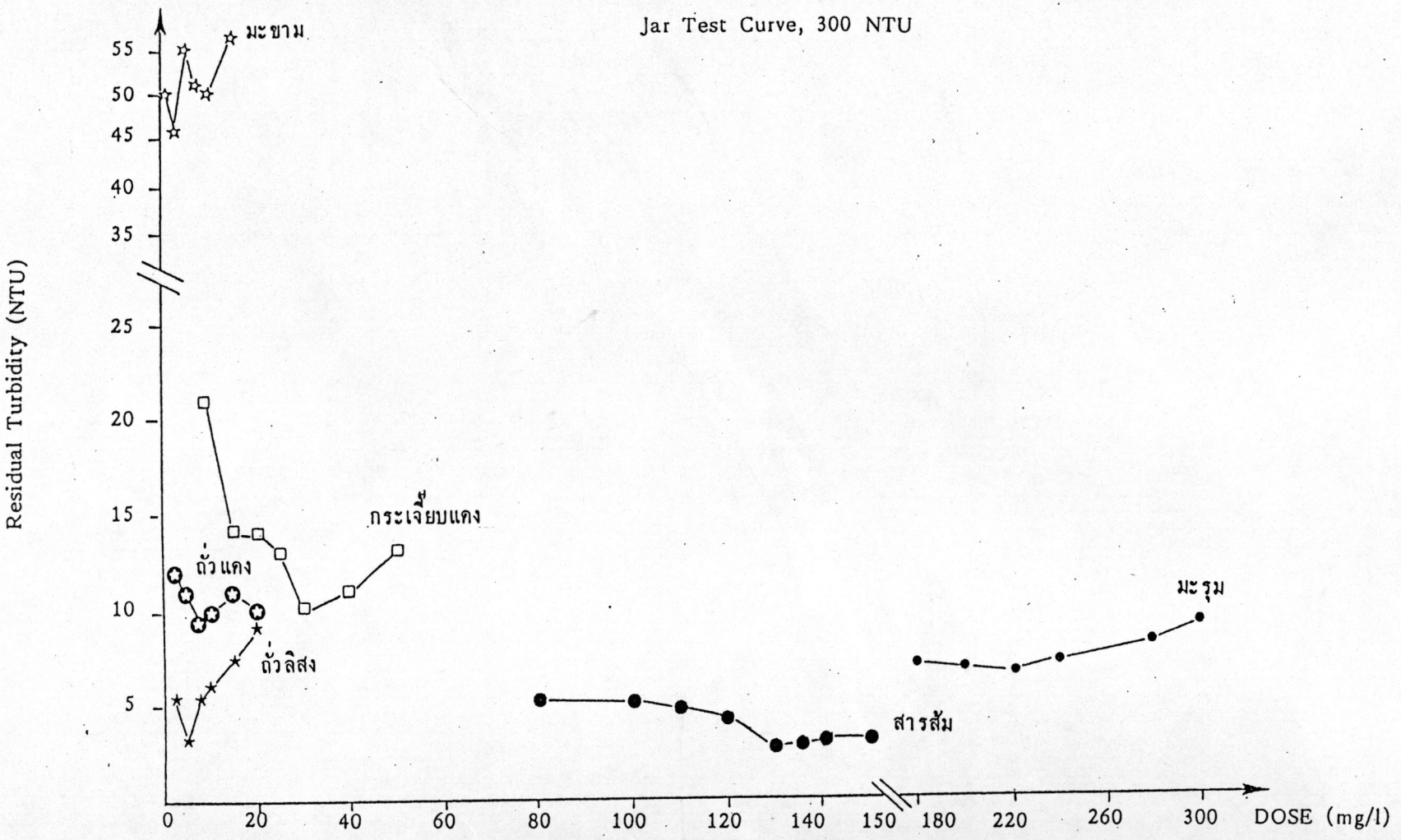
รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความขุ่นตกค้าง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 50 NTU



รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความขุ่นตกค้าง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 100 NTU



รูปที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความขุ่นตกค้าง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 200 NTU



รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความขุ่นตกค้าง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 300 NTU

4.1.1.1 ระดับความขุ่น 50 NTU

ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4-1 จากรูปจะเห็นว่าที่ระดับความขุ่นนี้ ถั่วลิสง เป็นโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดความขุ่น เมื่อใช้เวลาตกตะกอน 60 นาที คือ 93.0 % รองลงมาคือ มะรุม 89.6%, กระเจี๊ยบแดง 76.0 % ถั่วแดงและมะขามเท่ากันคือ 66.0% ซึ่งเมื่อเทียบกับสารส้มแล้วจะเห็นได้ว่า สารส้มยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติทั้ง 5 ชนิดคือ 96.8% (ดูตารางที่ 4-2)

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมพบว่า มะรุมใช้ปริมาณโคแอกกูแลนต์สูงที่สุดในบรรดาโคแอกกูแลนต์ทั้งหมดคือ 160 มก./ล. เมื่อเทียบกับมะขามซึ่งใช้ปริมาณต่ำสุดเพียง 2.5 มก./ล. เท่านั้น จะเห็นได้ว่ามีปริมาณที่แตกต่างกันสูงมาก ส่วนโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติอีก 3 ชนิด ก็ใช้ปริมาณที่เหมาะสมไม่เกิน 10 มก./ล. เมื่อเทียบกับปริมาณสารส้มที่เหมาะสมสำหรับน้ำดิบความขุ่น 50 NTU ซึ่งเท่ากับ 40 มก./ล. แล้วจะเห็นได้ว่าโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติส่วนใหญ่ (ยกเว้นมะรุม) ใช้ปริมาณที่เหมาะสมต่ำกว่าสารส้มมาก

เนื่องจาก Schulz และ Okun(1984) แนะนำว่าน้ำดิบที่มีความขุ่นมากกว่า 50 NTU ขึ้นไป ต้องผ่านกระบวนการบำบัดอย่างน้อยที่สุดคือ การกรองช้าผ่านทรายกรอง และกระบวนการฆ่าเชื้อโรค สำหรับกระบวนการกรองช้า จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด หากน้ำก่อนเข้าถังกรองมีความขุ่นน้อยกว่า หรือเท่ากับ 10 NTU และปรีชา แสงพิสิทธิ์ (2531) ได้ทำการทดลอง พบว่า ระบบการกรองโดยตรง จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด หากใช้กับน้ำดิบที่มีความขุ่นไม่เกิน 10 NTU ดังนั้นในการทดลองนี้จึงยึดเอาค่าระดับความขุ่นตกค้างที่น้อยกว่า หรือเท่ากับ 10 NTU เป็นเกณฑ์ในการตัดสินว่า โคแอกกูแลนต์ที่นำมาทดลองชนิดใดมีประสิทธิภาพดี ควรแก่การนำมาใช้

เมื่อพิจารณาทั้งประสิทธิภาพในการลดความขุ่นและปริมาณที่เหมาะสมประกอบกันพบว่า ถั่วลิสง เป็นโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติที่ดีที่สุดในระดับความขุ่น 50 NTU นี้

4.1.1.2 ระดับความขุ่น 100 NTU

ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4-2 จากรูปจะเห็นได้ว่ามีโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพดีหลายชนิดคือ กระเจี๊ยบแดง ถั่วลิสง และมะรุม เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการลดความขุ่น ประกอบกัน (ดูตารางที่ 4-2) จะพบว่ากระเจี๊ยบแดงจะเป็นตัวที่ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของน้ำ 96.3% และใช้ปริมาณที่เหมาะสมเพียง

20 มก./ล. เมื่อเทียบกับสารส้มที่ระดับความขุ่นนี้จะใช้ปริมาณที่เหมาะสมถึง 45 มก./ล แต่สารส้มจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงกว่าคือ 98.0%

สำหรับโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติชนิดอื่นที่มีประสิทธิภาพรองลงมาคือ ถั่วลิสง มีประสิทธิภาพในการลดความขุ่น 90.9% และใช้ปริมาณที่เหมาะสมเพียง 5 มก./ล. และมะรุม มีประสิทธิภาพในการลดความขุ่น 92.7% ใช้ปริมาณที่เหมาะสม 200 มก./ล.

4.1.1.3 ระดับความขุ่น 200 NTU

ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4-3 จากรูปจะเห็นว่า ถั่วลิสง กระเจี๊ยบแดง และมะรุม ยังเป็นโคแอกกูแลนต์ที่มีประสิทธิภาพดี เช่นเดียวกับที่ระดับความขุ่น 100 NTU กล่าวคือเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการลดความขุ่น (ดูตารางที่ 4-2) พบว่า ถั่วลิสง มีประสิทธิภาพ 97.1% มะรุม 98.7% และกระเจี๊ยบแดง 98.4% เทียบกับสารส้ม ซึ่งมีประสิทธิ--ภาพในการลดความขุ่น 98.7% เท่ากับมะรุม

เมื่อพิจารณาปริมาณที่เหมาะสมพบว่า ถั่วลิสงใช้น้อยที่สุดคือ 5 มก./ล. กระเจี๊ยบแดงใช้ 20 มก./ล. ส่วนมะรุมใช้มากถึง 210 มก./ล. เทียบกับสารส้ม ซึ่งใช้ 80 มก./ล.

จากการพิจารณาความเหมาะสมทั้งในแง่ของปริมาณ และประสิทธิภาพในการลดความขุ่นแล้ว พบว่า กระเจี๊ยบแดงเป็นโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติที่ดีที่สุดในช่วงความขุ่นนี้

4.1.1.4 ระดับความขุ่น 300 NTU

ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4-4 จากรูปจะเห็นได้ว่า โคแอกกู-แลนต์ธรรมชาติส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพดี คือสามารถใช้ได้ทั้งถั่วลิสง กระเจี๊ยบแดง ถั่วแดง และมะรุม ซึ่งประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของ โคแอกกูแลนต์ชนิดต่างๆ (ดูตารางที่ 4-2) เป็นดังนี้คือ ถั่วลิสงสูงสุด 98.8% มะรุม 97.8% ถั่วแดง 96.9% และกระเจี๊ยบแดง 96.7% เมื่อเทียบกับสารส้ม ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่น 99.9% จะเห็นได้ว่ามีความใกล้เคียงกันมาก

เมื่อพิจารณาปริมาณที่เหมาะสมพบว่า ถั่วลิสงใช้ปริมาณต่ำที่สุดคือ 5 มก./ล. ถั่วแดง 7.5 มก./ล. มะรุม 220 มก./ล. และสารส้ม 135 มก./ล. ดังนั้น โคแอกกูแลนต์ที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือ ถั่วลิสง เพราะมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นใกล้เคียงกับสารส้มมาก และยังใช้ปริมาณที่เหมาะสมต่ำกว่าสารส้มถึง 25 เท่า

จากตารางที่ 4-2 พบว่าโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการทดลอง จะมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นสูงขึ้น หากใช้กับน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ประสิทธิภาพในการลดความขุ่น จะแปรผันโดยตรงกับระดับความขุ่นของน้ำดิบ นอกจากนี้โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติที่นำมาทดลองไม่ทำให้ค่าพีเอช และสภาพด่าง (alkalinity) ของน้ำดิบเปลี่ยนแปลง (ดูตารางที่ 4-3)

ตารางที่ 4-3 สภาพด่างที่วัดได้เมื่อใช้โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติในปริมาณที่เหมาะสมของการทดลองจาร์เทสต์

สภาพด่าง (มก./ล. หินปูน) ของน้ำใสที่ผ่านจาร์เทสต์แล้ว				
ความขุ่น (NTU) / ชนิดโคแอกกูแลนต์	50	100	200	300
มะรุม	75	75	72	74
กระเจี๊ยบแดง	75	75	75	74
ถั่วแดง	72	73	73	74
ถั่วลิสง	71	71	72	71
มะขาม	73	74	74	73
น้ำดิบ	72	73	72	73

ผลการทดลองอธิบายได้ว่า ในการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ที่ระดับพีเอช 6-8 (พีเอชของน้ำดิบที่นำมาทดลองอยู่ในช่วง 7.0-7.8) สารส้มส่วนใหญ่จะแตกตัวให้ผลึกของ $Al(OH)_3$ ซึ่งมีลักษณะเหนียวสามารถห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ โคแอกกูเลชั่นที่เกิดขึ้นจึงเป็นกลไกแบบกวาด ทั้งนี้ขึ้นกับระดับความขุ่นของน้ำดิบและปริมาณสารส้มที่เติม กล่าวคือ น้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย แม้ว่าการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์จะเกิดขึ้นแล้วก็ตาม โคแอกกูเลชั่นอาจเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควร จึงมักจะต้องเติมโคแอกกูแลนต์ในปริมาณสูงเพื่อสร้างผลึก $Al(OH)_3$ จำนวนมาก ๆ สำหรับเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูง โอกาสสัมผัสย่อมมีมาก โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกมากเท่าในกรณีแรก โคแอกกูเลชั่นจึงเกิดได้ดีที่ระดับความขุ่นสูง

จากผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโคแอกกูแลนต์จากวัสดุธรรมชาติทั้ง 5 ชนิด (ดูตารางที่ 4-4) ที่ห้องปฏิบัติการ กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร พบว่าเมล็ดพืชทั้ง 5 ชนิดที่นำมาทดลอง มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นพวก โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสารประกอบตามธรรมชาติเหล่านี้มักมีขนาดโมเลกุลใหญ่มาก โดยสารประกอบพวกโปรตีนจะประกอบด้วยอนุมูล (โมโนเมอร์) ของหมู่กรดอะมิโนหลาย ๆ หมู่เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน เช่นเดียวกับสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต ที่ประกอบไปด้วย น้ำตาลโมเลกุลย่อยหลาย ๆ โมเลกุลมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน โมโนเมอร์หลายๆโมโนเมอร์ที่มาเชื่อมต่อกันนี้เรียกว่า "โพลีเมอร์" จึงอาจกล่าวได้ว่าเมล็ดพืชที่นำมาทดลองทั้ง 5 ชนิด มีองค์ประกอบเป็นพวกโพลีเมอร์ สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ มิได้ทำการวิเคราะห์ลึกลงไปถึงองค์ประกอบในระดับโมเลกุล จึงไม่สามารถบอกได้ว่า โพลีเมอร์ชนิดใดในเมล็ดพืชที่ทำให้พืชแสดงคุณสมบัติเป็นโคแอกกูแลนต์ดังกล่าว แต่จากการตั้งข้อสังเกตุเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการลดความขุ่นในการทดลองจาร์เทสต์ (ดูตารางที่ 4-2) โดยเฉพาะที่ระดับความขุ่น 50 NTU ซึ่งเป็นระดับความขุ่นของน้ำตามแหล่งน้ำธรรมชาติผิวดินทั่วไป พบว่าถั่วลิสงจะมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นสูงสุด และมะขามจะมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นต่ำที่สุดที่ทุกระดับความขุ่น และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีในตารางที่ 4-4 พบว่าปริมาณโปรตีนในถั่วลิสงจะสูงกว่าเมล็ดพืชชนิดอื่นที่นำมาทดลอง และปริมาณโปรตีนในมะขามจะต่ำที่สุด หรือพิจารณาปริมาณไนโตรเจน ก็สอดคล้องกัน ทั้งนี้เพราะธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนในโมเลกุลของโปรตีน เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพืชโคแอกกูแลนต์ชนิดอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติดีรองลงมาจากถั่วลิสง คือ กระเจี๊ยบแดงและถั่วแดง ก็พบว่ามีปริมาณโปรตีน และไนโตรเจน ค่อนข้างสูงรองลงมาจากถั่วลิสง เช่นเดียวกัน จึงขอตั้งสมมุติฐานว่า ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในโปรตีน น่าจะมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของพืชชนิดนั้นๆนอกจากนี้ยังพบว่าน้ำที่ผ่านการตกตะกอนโดยใช้ถั่วลิสงเป็นโคแอกกูแลนต์จะมีคราบน้ำมันลอยอยู่ที่ผิวหน้า ทำให้เกิดสภาพที่ไม่น่าดู ทั้งนี้เนื่องจากถั่วลิสงมีองค์ประกอบเป็นไขมันสูงถึง 49.4% โดยน้ำหนัก ดังนั้นหากจะมีการนำเอาถั่วลิสงไปใช้งานในระบบประปาจริง ควรมีการพิจารณาในแง่นี้ด้วย

โดยทั่วไปแล้วโมเลกุลของสารโพลีเมอร์อาจมีประจุไฟฟ้าประจำตัว เป็น บวก, ลบ, หรือไม่มีประจุเลยก็ได้ จากการใช้เทคนิคการไตเตรทคอลลอยด์ ตรวจสอบชนิดประจุของสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติทั้ง 5 ชนิด (ดูตารางที่ 4-13 ถึง 4-15) พบว่ามีประจุเป็นบวก แสดงว่าโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติทั้ง 5 ชนิดที่นำมาทดลองเป็นพวกโพลีเมอร์ประจุบวก ดังนั้นกลไกโคแอกกูเลชั่นที่เกิดขึ้นในการทดลองจาร์เทสต์ จึงอธิบายได้ด้วยโมเดล "Polymer Bridging" กล่าวคือ เมื่อเติมโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติเหล่านี้ลงไป โมเลกุลของสารโพลีเมอร์ซึ่งมักมีขนาดใหญ่จะสามารถเกาะติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง อนุภาคคอลลอยด์ที่อยู่ในน้ำมักมีประจุลบ ดังนั้นการเกาะติดจึงเป็นผลเนื่องจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และ

คอลลอยด์ อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (Destabilized Particle) อนุภาคดังกล่าวนี้สามารถจับตัวกับอนุภาคอื่น ๆ โดยมีโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม และการต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์จะเกิดขึ้นได้ตราบเท่าที่มีโพลีเมอร์ และตำแหน่งว่างบนผิวอนุภาค ถ้าปลายอิสระของโพลีเมอร์ไม่มีที่จะเกาะจับบนอนุภาคอื่น(ไม่ว่าจะด้วยเหตุผลใดก็ตาม) ปลายอิสระก็จะเกาะจับบนอนุภาคเดิม ทำให้ไม่มีปลายอิสระไว้จับอนุภาคอื่น และทำให้มีตำแหน่งว่างบนอนุภาคสำหรับยึดเกาะน้อยลง อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลีเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่ง จนไม่มีปลายอิสระและไม่มีที่ว่างเรียกว่า

ตารางที่ 4-4 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพืชโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ด (% โดยน้ำหนัก)	ชนิดพืช				
	ถั่วลิสง	ถั่วแดง	มะขาม	มะรุม	กระเจี๊ยบแดง
ความชื้น	2.8	7.0	6.8	3.5	5.5
ไขมัน	49.4	0.5	7.1	34.7	16.9
คาร์โบไฮเดรต	13.3	62.3	68.5	37.6	20.4
โปรตีน	28.3	24.9	14.6	15.4	22.3
เส้นใย	3.8	1.8	1.0	5.1	30.1
ขี้เถ้า	2.4	3.5	2.0	3.6	4.8
ไนโตรเจน	4.533	3.984	2.337	2.470	3.561
ฟอสฟอรัส	0.854	0.625	0.466	1.354	1.312
โปเตสเซียม	0.666	1.250	0.458	0.708	1.250
แคลเซียม	0.020	0.038	0.041	0.066	0.250
มักเนเซียม	0.150	0.183	0.116	0.250	0.333
กำมะถัน	0.267	0.247	0.130	0.791	0.387
คลอไรด์	0.022	0.015	0.010	0.017	0.012
แทนนิน	0.230	0.144	0.068	0.010	0.180
เหล็ก (ส่วนในล้านส่วน)	70	37	70	37	170

สถานที่วิเคราะห์ตัวอย่าง : กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร (18 ก.ย. 32)

อนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (Restabilized Particle) ปรากฏการณ์เช่นนี้เห็นได้ชัดในกรณีที่น้ำมีความขุ่นต่ำ ซึ่งต้องใช้ปริมาณโคแอกกูแลนต์สูง เพราะมีเป้าสัมผัสน้อย โพลีเมอร์หลาย ๆ ตัวจะเกาะจับบนผิวอนุภาคคอลลอยด์ตัวหนึ่ง ๆ ทำให้มีที่ว่างสำหรับยึดเกาะกับอนุภาคอื่น ๆ น้อยลง จึงเปลืองโคแอกกูแลนต์มากกว่า และกลไกการเกิดโคแอกกูเลชั่นจะเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ความขุ่นของน้ำดิบสูงๆ ซึ่งทำให้มีเป้าสัมผัสระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กับโพลีเมอร์มากกว่าที่ความขุ่นต่ำ เหตุผลดังกล่าวจึงสนับสนุนผลการทดลองที่ว่าประสิทธิภาพในการลดความขุ่นแปรผันโดยตรง กับระดับความขุ่นของน้ำดิบ

นอกจากนี้ในการทดลองยังพบว่า การเติมโคแอกกูแลนต์มากเกินไปทำให้ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นลดลง หรือน้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมีความขุ่นตกค้างสูงขึ้น (ดูตารางที่ ก-1 ถึง ก-6 ในภาคผนวก ก) อธิบายได้ว่า ในกรณีของการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ ซึ่งถ้ากลไกเป็นแบบ Sweep Coagulation นี้การเติมโคแอกกูแลนต์ที่มากเกินไป ไม่ได้ทำให้เสถียรภาพของคอลลอยด์กลับคืนมาใหม่ แต่จะทำให้มีผลึกของอลูมินัมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นปุยขาวมากเกินไปจนตกตะกอนไม่หมด น้ำดิบจึงมีความขุ่นตกค้างสูง สำหรับการใช้โคแอกกูแลนต์จากวัสดุธรรมชาติทั้ง 5 ชนิดก็ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน อธิบายได้ว่า การเติมโคแอกกูแลนต์พวกโพลีเมอร์มากเกินไปโพลีเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของโพลีเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่น ๆ อนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นจึงเป็นแบบที่มีเสถียรภาพ โคแอกกูเลชั่นจึงเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ ความขุ่นตกค้างที่วัดได้จึงสูงขึ้นดังกล่าว

4.1.2 <u>การทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ โดยการทดลองหาค่าดัชนีการกรอง (F-Test)</u>

ค่าดัชนีของการกรองน้ำ (Filterability Index, F) เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงความสามารถในการกรองน้ำ ซึ่งวัดอยู่ในเทอมความเข้มข้นของสารแขวนลอย ระดับการอุดตัน และชลศาสตร์ของน้ำที่ไหลผ่าน

เนื่องจากในการทดลอง ใช้อุปกรณ์ขนาดมาตราส่วนเล็กที่มีชั้นทรายหนาเพียง 4 ซม. ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ทรายกรองที่มีขนาดสัมฤทธิ์ต่ำ ๆ โดยใช้เพียง 0.235 มม. และใช้อัตราการกรองประมาณ 4 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ทั้งนี้เพื่อเน้นให้เห็นถึงความแตกต่างทางด้านการสูญเสียเฮดมีค่าชัดเจนยิ่งขึ้น

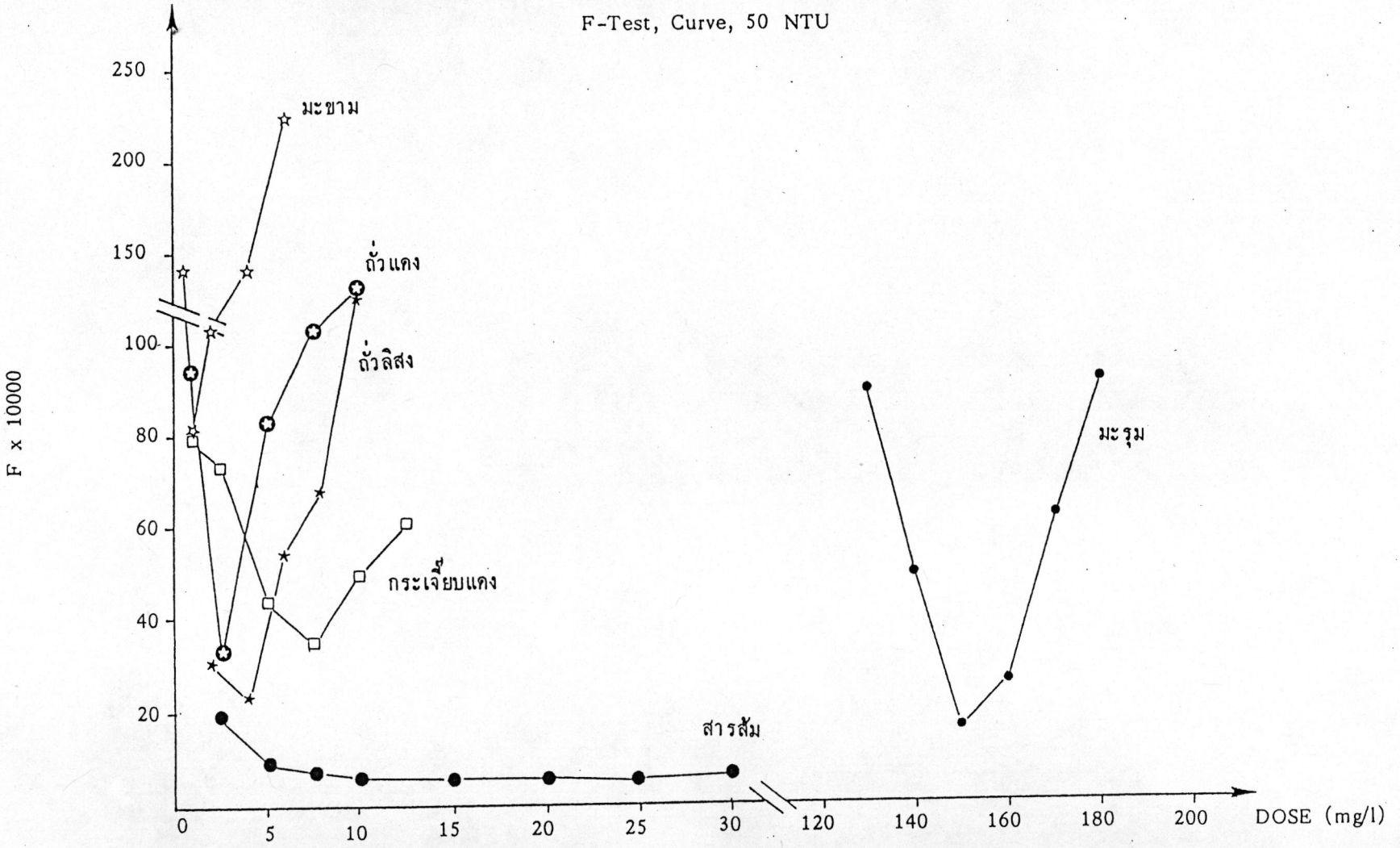
จากผลการทดลอง (ดูตารางที่ ก-7 ถึง ก-36 ในภาคผนวก ก) พบว่า โดยทั่วไปแล้วระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองจะมีค่าต่ำลงเมื่อใช้โคแอกกูแลนต์ในปริมาณที่สูงขึ้น

แต่ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่มากเกินพอก็มิได้ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญนัก แต่กลับจะทำให้ค่าการสูญเสียเฮดมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาณฟล็อคที่เข้ามาอุดตันมากขึ้น ดังนั้นจึงใช้ค่าดัชนีการกรองเพื่อเปรียบเทียบหาปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมที่จะสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพดีได้ แต่ไม่ทำให้ค่าการสูญเสียเฮดมีค่าสูงเกินไป ซึ่งที่ปริมาณโคแอกกูแลนต์ดังกล่าวจะให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุด

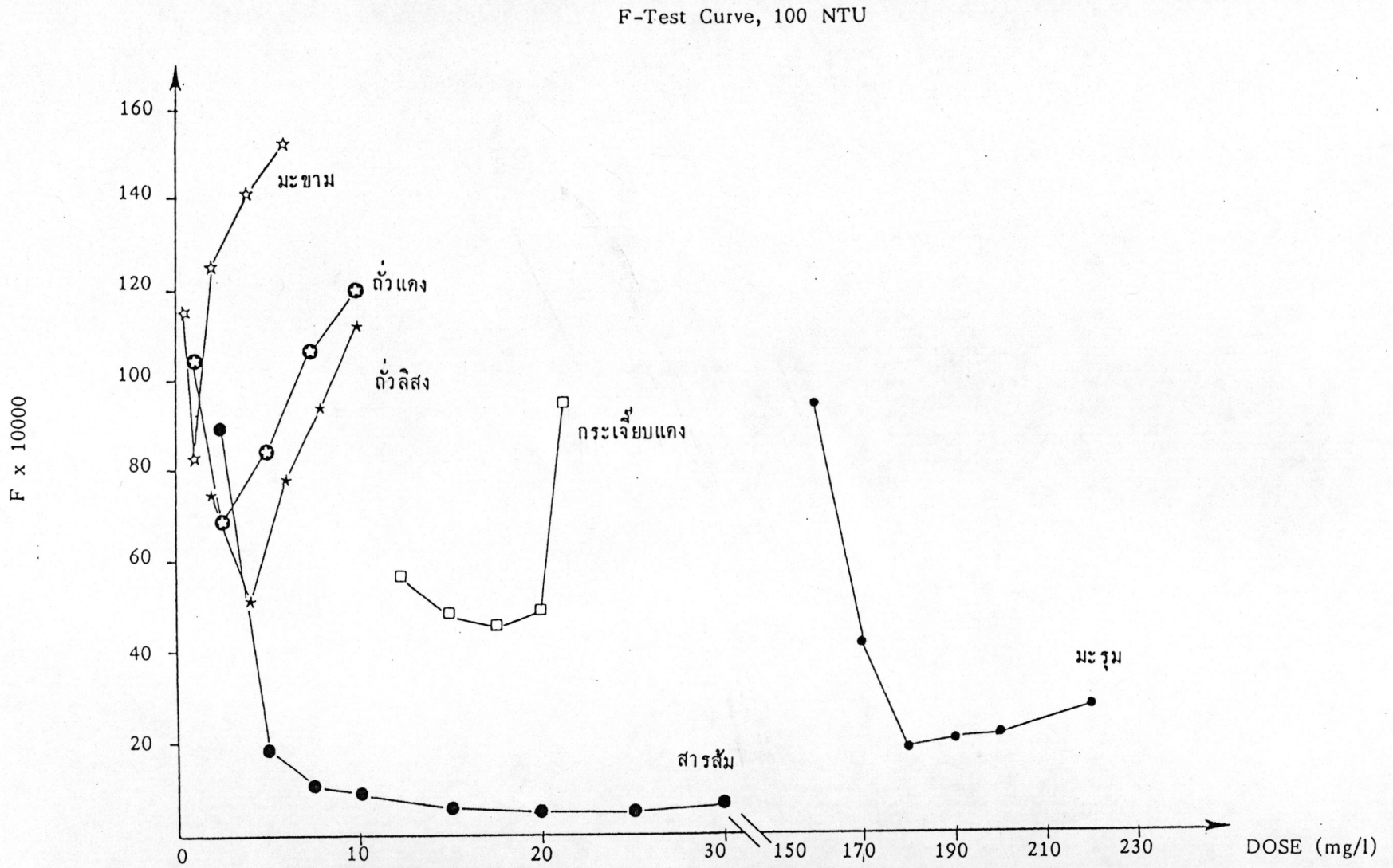
จากการทดลองหาค่าดัชนีการกรองเพื่อหาชนิดและปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมสำหรับสร้างโคแอกกูเลชั่นให้กับน้ำตัวอย่างที่ความขุ่นต่าง ๆ ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4-5 และ 4-6 และแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นในกราฟรูปที่ 4-5 ถึง 4-8 เมื่อพิจารณาค่าดัชนีการกรองในแต่ละระดับความขุ่น สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4-5 ผลการคำนวณค่าดัชนีการกรอง เมื่อใช้ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมที่แต่ละระดับความขุ่น

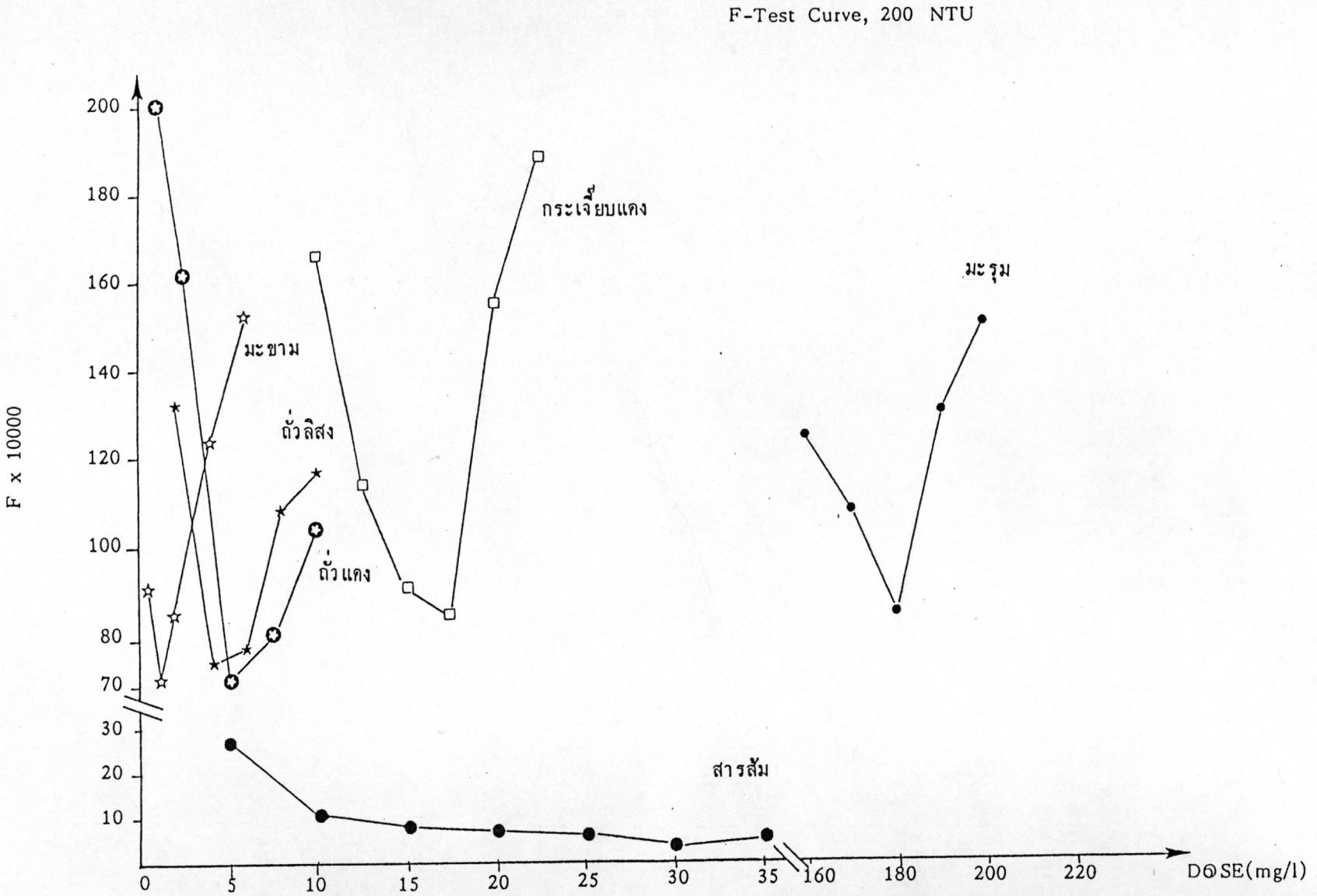
ระดับความขุ่น (NTU)	ค่าดัชนีการกรองเมื่อใช้ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม ,$Fx10^4$					
	ชนิดของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้					
	สารส้ม	มะรุม	กระเจี๊ยบแดง	ถั่วแดง	ถั่วลิสง	มะขาม
50	5.1	15.8	34.4	33.0	23.0	82.0
100	4.9	18.8	45.6	68.0	50.8	82.1
200	3.9	84.6	85.5	71.6	75.5	70.6
300	6.4	169	157	59.7	87.9	72.4



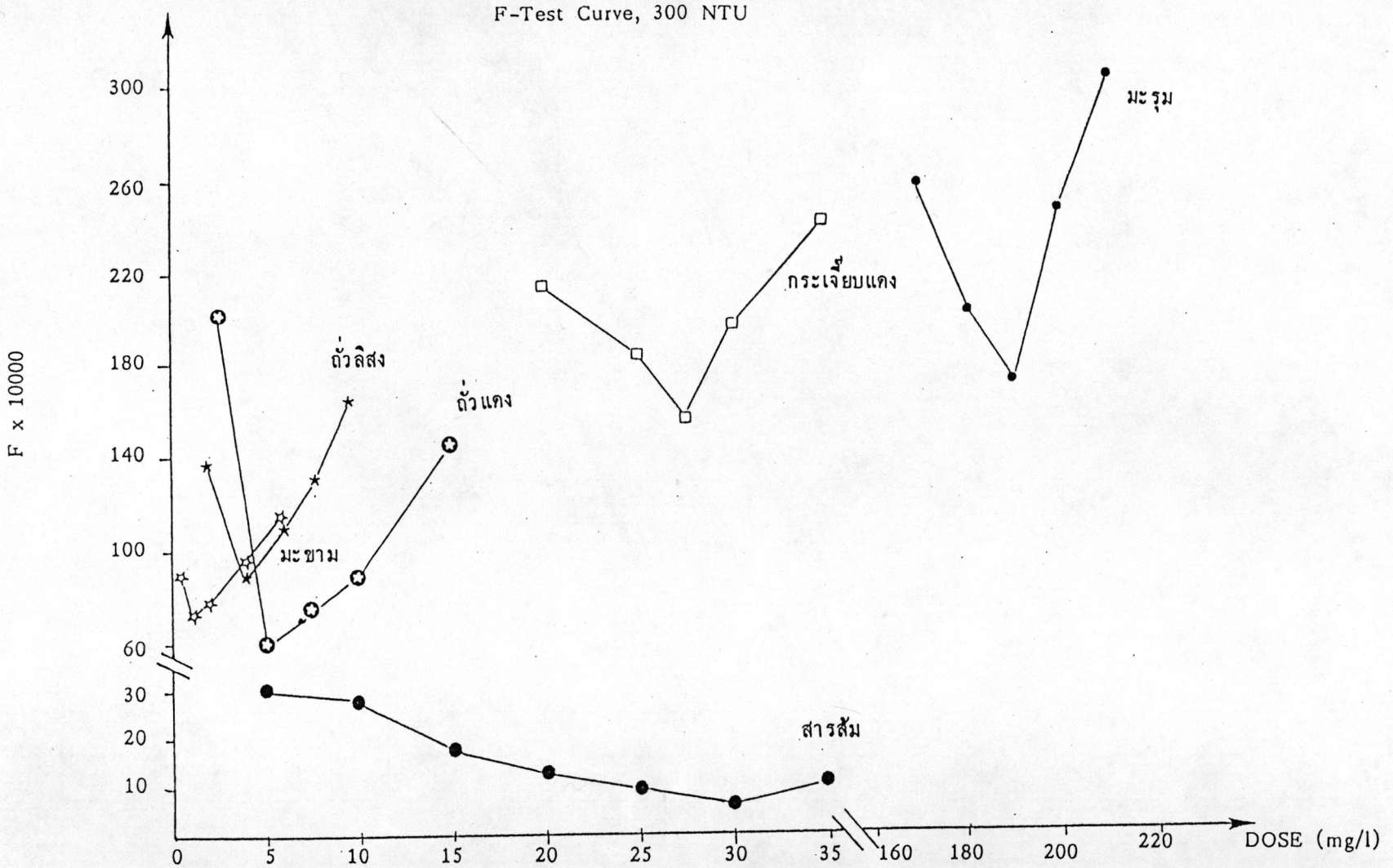
รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีการกรอง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 50 NTU



รูปที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีการกรอง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 100 NTU



รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีการกรอง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 200 NTU



รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีการกรอง และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ที่ระดับความขุ่น 300 NTU

ตารางที่ 4-6 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น เมื่อใช้โคแอกกูแลนต์ชนิดต่าง ๆ ในปริมาณที่เหมาะสม สำหรับการทดลองหาค่าดัชนีการกรอง

ระดับความขุ่น (NTU)	ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม(%)					
	ชนิดของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้					
	สารส้ม	มะรุม	กระเจี๊ยบแดง	ถั่วแดง	ถั่วลิสง	มะขาม
50	99.5	98.8	94.0	95.5	97.1	78.1
100	99.6	98.5	95.3	91.7	90.8	89.0
200	99.4	95.9	91.0	93.8	92.5	95.0
300	99.3	97.2	94.3	95.5	92.3	94.7

หมายเหตุ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น (%)

$$= \frac{(\text{ความขุ่นเริ่มแรก} - \text{ความขุ่นที่กรองได้}) \times 100}{\text{ความขุ่นเริ่มแรก}}$$

4.1.2.1 ระดับความขุ่น 50 NTU

ผลการทดลองแสดงไว้ในกราฟรูปที่ 4-5 จากรูปจะเห็นได้ว่าที่ระดับความขุ่นนี้ มะรุม เป็นโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติที่ให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุดเท่ากับ 15.8×10^{-4} รองลงมาคือ ถั่วลิสงที่ให้ค่าดัชนีการกรอง 23×10^{-4} เมื่อเปรียบเทียบกับสารส้ม ซึ่งให้ค่าดัชนีการกรองเพียง 5.1×10^{-4} จะเห็นว่าสารส้มให้ค่าดัชนีการกรองต่ำกว่าโคแอกกูแลนต์ชนิดอื่นมาก

4.1.2.2 ระดับความขุ่น 100 NTU

ผลการทดลองแสดงไว้ในกราฟรูปที่ 4-6 จากรูปจะเห็นได้ว่ามะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติที่ให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุดเท่ากับ 18.8×10^{-4} ส่วนโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติชนิดอื่น ๆ จะมีค่าดัชนีการกรองอยู่ระหว่าง 45.6×10^{-4} ถึง 82.1×10^{-4} เมื่อเปรียบเทียบกับสารส้ม ซึ่งให้ค่าดัชนีการกรองเพียง 4.9×10^{-4} จะเห็นว่าสารส้มยังเป็นโคแอกกูแลนต์ที่ให้ค่าดัชนีการกรองต่ำกว่าโคแอกกูแลนต์ชนิดอื่นมาก

4.1.2.3 ระดับความขุ่น 200 NTU

ผลการทดลองแสดงไว้ในกราฟรูปที่ 4-7 จากรูปจะเห็นได้ว่าสารส้มยังเป็นโคแอกกูแลนต์ที่ให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุด คือ $3.9x10^{-4}$ ส่วนโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติทั้ง 5 ชนิดจะมีค่าดัชนีการกรองที่ใกล้เคียงกันมากคือระหว่าง $70.6x10^{-4}$ จนถึง $85.5x10^{-4}$ ซึ่งมะขามจะเป็นตัวที่ให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุดในบรรดาโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ แต่ก็ยังสูงกว่าสารส้มอยู่มาก

4.1.2.4 ระดับความขุ่น 300 NTU

ผลการทดลองแสดงไว้ในกราฟรูปที่ 4-8 จากรูปจะเห็นได้ว่าสารส้มยังเป็นโคแอกกูแลนต์ที่ให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุด เช่นเดียวกับที่ระดับความขุ่น 50, 100 และ 200 NTU คือเท่ากับ $6.4x10^{-4}$ ส่วนโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติที่ให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุดคือถั่วแดงซึ่งเท่ากับ $59.7x10^{-4}$ และโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติที่ให้ค่าดัชนีการกรองสูงมาก คือ กระเจี๊ยบแดง และมะรุม ซึ่งให้ค่าดัชนีการกรองสูงถึง $157x10^{-4}$ และ $169x10^{-4}$ ตามลำดับ

จากตารางที่ 4-6 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของน้ำพบว่า โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติเกือบทุกชนิด มีประสิทธิภาพดีใกล้เคียงกับสารส้ม คือ มีประสิทธิภาพในการลดความขุ่น สูงกว่า 90% ที่ทุกระดับความขุ่น ยกเว้นการใช้มะขามที่ระดับความขุ่น 50 และ 100 NTU เท่านั้นที่ให้ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นต่ำกว่า 90% อย่างไรก็ดี สารส้มยังเป็นโคแอกกูแลนต์ที่มีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติทั้ง 5 ชนิด

สำหรับในการทดลองนี้ ที่ระดับความขุ่น 200 และ 300 NTU ประสิทธิภาพในการลดความขุ่น จะต่ำกว่าที่ระดับความขุ่น 100 และ 50 NTU อธิบายได้ว่าที่ความขุ่นสูงๆ การอุดตันในชั้นทรายจะสูง เนื่องจากมีอนุภาคความขุ่นแทรกตัวอยู่จนเต็ม อนุภาคความขุ่นที่อัดตัวกันและแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายกรองนี้ จะถูกแรงเฉือนเนื่องจากการไหลของน้ำ ดันให้หลุดมากับน้ำออก น้ำที่กรองได้จึงมีความขุ่นค่อนข้างสูง และยิ่งน้ำดิบมีความขุ่นสูงมากขึ้นเท่าใด การรั่วของสารแขวนลอยออกจากชั้นกรองก็จะยิ่งมากขึ้น แรงเฉือนที่เกิดจากการไหลของน้ำก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย ทำให้ตะกอนหลุดออกมาจากชั้นกรองได้มากขึ้น กลไกนี้เรียกว่า กลไกการหลุด (detachment mechanism)

ตารางที่ 4-7 ค่าการสูญเสียเฮดที่เกิดขึ้นในชั้นทรายกรอง เมื่อใช้เวลากรอง 10 นาที ที่แต่ละระดับความขุ่นในการทดลองหาค่าดัชนีการกรอง

ระดับความขุ่น (NTU)	ค่าการสูญเสียเฮดที่เวลา 10 นาทีเมื่อใช้ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม(ซม.)					
	ชนิดของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้					
	สารส้ม	มะรุม	กระเจี๊ยบแดง	ถั่วแดง	ถั่วลิสง	มะขาม
50	7.65	7.5	5.7	6.5	5.0	3.2
100	8.0	9.5	6.0	5.6	5.4	6.0
200	9.0	11.3	6.9	5.7	8.4	8.1
300	9.8	26.7	7.0	8.0	8.8	8.1

จากผลการทดลองหาค่าดัชนีการกรอง สรุปได้ว่า ค่าดัชนีการกรอง มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามระดับความขุ่นของน้ำดิบ และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ทั้งนี้อธิบายได้ว่าที่ระดับความขุ่นสูงๆ ค่าการสูญเสียเฮดในชั้นของสารกรองจะเพิ่มขึ้น (ดูตารางที่ 4-7) และในการเติมโคแอกกูแลนต์ที่มากเกินไป จนเกินปริมาณที่เหมาะสมก็จะทำให้ค่าดัชนีการกรองสูงขึ้นด้วยเช่นกัน (ดูตารางที่ ก-7 ถึง ก-12 ในภาคผนวก ก) เพราะทั้งสองกรณีนี้จะทำให้เกิดฟล็อคในปริมาณที่มากขึ้น ทรายกรองจึงอุดตันเร็วขึ้นทำให้ค่าการสูญเสียเฮดที่วัดได้สูงขึ้น ค่าดัชนีการกรองที่คำนวณได้จึงสูงขึ้นตามไปด้วย ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่วัดในเทอมของความขุ่นของน้ำออก จะมีค่าใกล้เคียงกันก็ตาม โดยทั่วไปแล้ว ค่าดัชนีการกรองที่ดีนั้นเกิดจากตัวคูณควรจะต่ำทั้งค่าการสูญเสียเฮดที่เกิดขึ้น และคุณภาพของน้ำที่กรองได้ และตัวหารควรจะมีค่าสูง โดยที่อัตราการไหลสูง (ความเร็วในการกรองสูง) ประกอบกับเครื่องกรองควรจะรับความเข้มข้นของน้ำที่จะกรองได้เป็นเวลานาน ๆ ดังนั้น ดัชนีของการกรองที่ดีจึงหมายถึงค่า F ต่ำ และค่าดัชนีการกรองที่ต่ำที่สุดจะบอกถึงปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม ที่จะทำให้น้ำกรองได้ดี ซึ่งในการทดลองหาค่าดัชนีการกรองนี้ ทำให้เราทราบว่า สารส้ม ยังเป็นโคแอกกูแลนต์ที่มีคุณสมบัติดีเหนือกว่าโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติทั้ง 5 ชนิด ในการเตรียมน้ำสำหรับการกรองดังกล่าว เพราะสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพดีได้โดยมีค่าการสูญเสียเฮดต่ำ จึงทำให้ค่าดัชนีการกรองของสารส้มต่ำกว่าโคแอกกูแลนต์ชนิดอื่น ๆ ที่ทุกระดับความขุ่น

4.1.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองจาร์เทสต์ และการหาค่าดัชนีการกรอง

ในอดีตการปรุงแต่งสภาพของน้ำดิบด้วยสารโคแอกกูแลนต์ กระทำเพื่อให้เกิดโคแอกกูเลชั่นและเกิดการตกตะกอนได้ดีที่สุด โดยไม่คำนึงถึงการเตรียมน้ำเพื่อให้สามารถกรองได้ดีที่สุด แต่ในปัจจุบันเชื่อกันว่า กระบวนการโคแอกกูเลชั่น เป็นการเตรียมน้ำเพื่อให้ตกตะกอนได้ดี และกรองได้ดีด้วย ทั้งนี้เพราะน้ำที่กรองได้ดี เมื่อผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชั่น ไม่จำเป็นต้องตกตะกอนความขุ่นออกเสมอไป แต่ตะกอนที่ผ่านถังตกตะกอนมาแล้วจะต้องกรองออกได้ง่าย ซึ่งประโยชน์ของดัชนีการกรองน้ำมีเช่นเดียวกับวิธีจาร์เทสต์ คือสามารถใช้ควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชั่น แต่เนื่องจากดัชนีการกรองน้ำสามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมการกรองน้ำได้ด้วย จึงมีประโยชน์เหนือกว่าวิธีจาร์เทสต์ ซึ่งใช้ควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชั่นเพียงอย่างเดียว

สำหรับในการทดลองครั้งนี้ การทดลองจาร์เทสต์จะมุ่งวิเคราะห์เปรียบเทียบความขุ่นตกค้าง หรือประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นตกค้างกับชนิดและปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ และในสภาวะเดียวกันจะนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาชนิดและปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่สามารถกำจัดความขุ่นได้มาก หรือเหมาะสมที่สุด สำหรับการทดลองหาค่าดัชนีการกรองจะทำการทดลองเพื่อ นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการทดลองจาร์เทสต์ภายใต้เงื่อนไขการทดลองแบบเดียวกับในการหาชนิด และปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการกรอง เพื่อเสริมกับการทดลองจาร์เทสต์

ในการทดลองครั้งนี้จึงทำการเปรียบเทียบผลการทดลองจาร์เทสต์และการทดลองหาค่าดัชนีการกรอง โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นตกค้างของการทดลองทั้งสองวิธี ความขุ่นที่กรองได้ในการหาค่าดัชนีการกรอง ชนิดและปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม แยกพิจารณาในแง่มุมต่าง ๆ ได้ดังนี้

4.1.3.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น

จากผลการทดลองจาร์เทสต์ และการหาค่าดัชนีการกรอง เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของทั้งสองวิธี ดังแสดงในตารางที่ 4-8 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นโดยการหาค่าดัชนีการกรองจะสูงกว่าการทดลองจาร์เทสต์ ซึ่งจะเห็นได้ชัดที่ระดับความขุ่นของน้ำดิบต่ำ (50 NTU) ทั้งนี้อาจเนื่องจากกลไกการกรองที่เกิดขึ้นได้มีส่วนเสริมสร้างประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น

ในการทดลองหาค่าดัชนีการกรอง เมื่อน้ำไหลผ่านชั้นกรองจะเกิดฟล็อคกูเลชั่นเกรเดียน (flocculation gradient) ในชั้นทราย ซึ่งเป็นความปั่นป่วนของน้ำที่

เกิดขึ้นเพื่อสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคความขุ่นที่ถูกทำลายเสถียรภาพ หรืออนุภาคความขุ่นกับฟล็อคโดยชั้นกรองจะช่วยเพิ่มอัตราสัมผัส และยังบังคับให้อนุภาคต่าง ๆ เคลื่อนที่เข้ามาชิดกันจนสามารถรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน และติดค้างบนชั้นทรายกรองในที่สุด และนอกจากนี้อนุภาคที่จับตัวกันเป็นฟล็อคแล้ว อาจเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคใหม่ โดยฟล็อคที่เกิดขึ้นจะจับตัวเป็นชั้นสลัดจ์ (sludge blanket) แล้วอนุภาคคอลลอยด์ที่เหลือจะถูกบังคับให้เคลื่อนที่ผ่านชั้นสลัดจ์ และจะถูกจับตัวไว้ในชั้นสลัดจ์นั้น น้ำที่ได้จึงมีความขุ่นเหลืออยู่น้อยมาก

ความเร็วเกรเดียนดังกล่าวนี้ จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามชนิดและปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ ความขุ่นเริ่มแรก และพีเอช (ในการทดลองนี้เรามิได้มีการแปรค่าพีเอชเพื่อศึกษา แต่ค่าพีเอชของน้ำดิบที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง 7.0-7.8 ซึ่งเป็นค่าพีเอชของน้ำดิบตามแหล่งน้ำธรรมชาติผิวดินโดยทั่วไป) ความเร็วเกรเดียนที่เกิดขึ้นในชั้นทรายของการทดลองหาค่าดัชนีการกรอง จะมีอิทธิพลต่อการสร้างโอกาสสัมผัสและรวมตัวของอนุภาคความขุ่นได้เช่นเดียวกับ ความเร็วเกรเดียนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนกวนช้าของจาร์เทสต์ จะต่างกันก็แต่เพียงว่าค่าความเร็วเกรเดียนที่เกิดขึ้นในชั้นทรายกรองนั้นมีค่าไม่คงที่โดยแปรเปลี่ยนไปตามการสูญเสียเฮด ส่วนความเร็วเกรเดียนในขั้นตอนกวนช้าของจาร์เทสต์เราสามารถควบคุมให้คงที่ได้ตลอดการทดลอง

ที่ระดับความขุ่นสูง ๆ (300 NTU) ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของการทดลองทั้งสองวิธีจะไม่มีความแตกต่างกันจนมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เพราะที่ระดับความขุ่นสูง ๆ เป้าสัมผัสในน้ำก็จะเพิ่มขึ้น โคแอกกูเลชั่นในการทดลองจาร์เทสต์ก็จะเกิดได้ดีขึ้นไม่ว่าจะใช้สารส้ม หรือโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติชนิดใดก็ตาม และถ้าหากเพิ่มความขุ่นของน้ำดิบขึ้นไปอีกมาก ๆ คาดว่าประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของการทดลองจาร์เทสต์กลับจะสูงกว่าการหาค่าดัชนีการกรอง ทั้งนี้เพราะที่ระดับความขุ่นสูง ๆ จะมีการรั่วไหลของอนุภาคความขุ่นและฟล็อคออกจากชั้นสารกรองได้ง่ายขึ้น เนื่องจากการอุดตันของช่องว่างระหว่างสารกรองที่เต็มไปด้วยฟล็อค โดยกลไกการหลุดที่กล่าวมาแล้ว

ตารางที่ 4-8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ที่หาได้จากการทดลองจาร์เทสต์ และการหาค่าดัชนีการกรอง

ระดับความขุ่น (NTU)	ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น (%)											
	ชนิดของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้											
	สารส้ม		มะรุม		กระเจี๊ยบแดง		ถั่วแดง		ถั่วลิสง		มะขาม	
	J	F	J	F	J	F	J	F	J	F	J	F
50	96.8	99.5	89.6	98.8	76.0	94.0	66.0	95.6	93.0	97.1	66.0	78.9
100	98.0	99.6	92.7	98.5	96.3	95.3	89.0	91.7	90.9	90.8	70.0	89.0
200	98.7	99.4	98.7	95.9	98.4	91.0	94.0	93.8	97.1	92.5	85.0	95.0
300	99.1	99.3	97.8	97.2	96.7	94.3	96.9	95.5	98.8	92.3	84.7	94.7

หมายเหตุ J = การทดลองจาร์เทสต์

F = การทดลองหาค่าดัชนีการกรอง

4.1.3.2 ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม

จากผลการทดลองจาร์เทสต์ และการหาค่าดัชนีการกรอง พบว่าปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมที่หาได้จากการทดลองหาค่าดัชนีการกรอง ต่ำกว่าการทดลองจาร์เทสต์ที่ทุกระดับความขุ่นของน้ำดิบ (ดูตารางที่ 4-9) อธิบายได้ว่า จากการพิจารณากลไกการเกิดโคแอกกูเลชั่นในการกรองและในการกวนช้าของการทดลองจาร์เทสต์ จะมีลักษณะเหมือนกับในการเกิดฟล็อคกูเลชั่น (Flocculation) อยู่ประการหนึ่งก็คือ การสร้างโอกาสสัมผัสของอนุภาคต่างๆ โดยอาศัยความปั่นป่วนของน้ำ เพียงแต่การกวนช้าสร้างความปั่นป่วนของน้ำโดยใช้เครื่องมือกล ทำให้ความเร็วของน้ำที่จุดต่าง ๆ แตกต่างกัน ดังนั้น อนุภาคความขุ่นที่เคลื่อนที่ไปกับน้ำจะมีความเร็วแตกต่างกันไปด้วยจึงทำให้เกิดการชนกันและรวมตัวกันในที่สุด ซึ่งเราเรียกกลไกนี้ว่า ออร์โธไคเนติคฟล็อคกูเลชั่น และจะมีบทบาทมากเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนจะเห็นได้ว่าในการทำจาร์เทสต์ ขนาดและปริมาณของอนุภาคความขุ่นหรือปริมาณเป้าสัมผัสมีความสำคัญมากในการเติมโคแอกกูแลนต์เพื่อช่วยทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ให้เข้ามาสัมผัสกันได้มากขึ้น จึงต้องใช้ปริมาณมากกว่าการกรอง เพราะกลไกของการกรองจะมี

ส่วนช่วยบีบบังคับให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วเข้ามาชนกันและรวมกันเป็นฟล็อคได้ง่ายขึ้น ดังนั้นกลไกแบบดูดติดผิวในกระบวนการกรอง จึงเป็นกลไกสำคัญที่จะทำให้คอลลอยด์สามารถเกาะจับบนสารกรอง หรือบนสิ่งอื่นที่จับบนสารกรองอยู่แล้ว ในการทดลองครั้งนี้ การใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์จะเห็นได้ชัดว่าปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองจาร์เทสต์จะสูงกว่าการทดลองหาค่าดัชนีการกรองมาก ซึ่งอธิบายได้ด้วยเหตุผลดังกล่าวคือ ในโคแอกกูเลชั่นของน้ำ เพื่อเข้าถังตกตะกอนโดยใช้สารส้ม ซึ่งมักจะเป็นกลไกแบบกวาด จึงต้องใช้ปริมาณสารส้มมาก เพื่อให้ได้ฟล็อคที่มีขนาดใหญ่ และมีปริมาณมากเพื่อที่จะสามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง แต่ในโคแอกกูเลชั่นของน้ำเพื่อเข้าถังกรอง กลไกแบบกวาดกลับจะไม่เป็นผลดี เพราะฟล็อคที่เกิดขึ้นจะเกิดการตกตะกอนติดค้างอยู่ตรงผิวหน้าชั้นทรายที่ความลึกไม่เกิน 3 นิ้วเท่านั้น ซึ่งจะทำให้สารกรองเกิดการอุดตันได้ง่าย มีค่าการสูญเสียเฮดสูงและอายุการกรองจะสั้น

ในการเติมสารส้ม หรือสารโพลีเมอร์ เพื่อเตรียมน้ำสำหรับการกรอง จึงมีจุดประสงค์เพียงเพื่อทำลายประจุของคอลลอยด์ และ/หรือ เปลี่ยนประจุให้เป็นประจุบวกเพราะการที่สารกรองและคอลลอยด์ที่มีประจุต่างกัน เป็นการส่งเสริมการดูดติดผิวได้อย่างเหนียวแน่น ดังนั้นฟล็อคที่เหมาะสำหรับการกรอง จึงไม่จำเป็นต้องแข็งแรงมีขนาดใหญ่หรือมีปริมาณมาก แต่ควรเป็นฟล็อคที่สามารถทะลุผ่านชั้นทรายได้ลึกๆ แต่ไม่หลุดออกจากชั้นทรายเพื่อสามารถใช้ประโยชน์จากชั้นสารกรองได้หมด

ดังนั้นในการเลือกค่าปริมาณที่เหมาะสมที่หาได้จากการทดลองจาร์เทสต์ และการหาค่าดัชนีการกรองไปใช้งาน จึงต้องดูวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ เช่น หากเป็นการเตรียมน้ำสำหรับการกรอง เช่น ในกรณีที่น้ำดิบมีความขุ่นต่ำ ๆ และโรงงานผลิตน้ำประปามีระบบ by-pass ผ่านถังตกตะกอนเข้าถังกรองโดยตรง การหาปริมาณที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการทดสอบความสามารถในการกรอง จะมีความเหมาะสมสะดวกรวดเร็วกว่าการทำจาร์เทสต์มาก แต่ในทางตรงข้ามหากน้ำดิบมีความขุ่นสูง ๆ การหาค่าดัชนีการกรองอาจจะทำได้ลำบาก เพราะสารกรองจะอุดตันได้ง่ายทำให้ค่าการสูญเสียเฮดสูงอย่างรวดเร็ว ในกรณีนี้การทำจาร์เทสต์ยังนับว่ามีประโยชน์และมีความเหมาะสมกว่า แต่ในการทดลองหาค่าดัชนีการกรองเพื่อหาปริมาณสารเคมีนั้น สามารถใช้เป็นการเสริมการทำจาร์เทสต์ ซึ่งไม่สามารถบอกถึงผลกระทบต่อเครื่องกรองได้ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น การเติมสารโพลีเมอร์เป็นโคแอกกูเลนต์เอด ซึ่งทำให้เกิดฟล็อคขนาดใหญ่ และตกตะกอนได้อย่างรวดเร็วในการทำจาร์เทสต์ แต่ฟล็อคเล็ก ๆ ที่ยังไม่ตกตะกอนทำให้เกิดการสูญเสียเฮดในเครื่องกรองสูงและรวดเร็ว ซึ่งไม่สามารถทราบได้จากจาร์เทสต์ แต่ทราบได้จากการทดสอบความสามารถในการกรอง ดังนั้นในการจะเลือกปริมาณที่เหมาะสมที่หาได้จากวิธีใดไปใช้งาน จึงควรพิจารณาถึงความเหมาะสมในแต่ละกรณีเพื่อให้เหมาะกับการนำไปใช้งานจริง

ตารางที่ 4-9 การเปรียบเทียบปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม ที่หาได้จากการทดลองจาร์เทสต์ และการหาค่าดัชนีการกรอง

ระดับความขุ่น (NTU)	ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม (มก./ล)											
	ชนิดของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้											
	สารส้ม		มะรุม		กระเจี๊ยบแดง		ถั่วแดง		ถั่วลิสง		มะขาม	
	J	F	J	F	J	F	J	F	J	F	J	F
50	40	25	160	150	10	7.5	5	2.5	5	4	2.5	1
100	45	25	200	180	20	17.5	5	2.5	5	4	2.5	1
200	80	30	210	180	20	17.5	5	5	5	4	2.5	1
300	135	30	220	190	30	27.5	7.5	5	5	4	2.5	1

หมายเหตุ J = การทดลองจาร์เทสต์

F = การทดลองหาค่าดัชนีการกรอง

4.1.4 การทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์เอด โดยการทดลองจาร์เทสต์

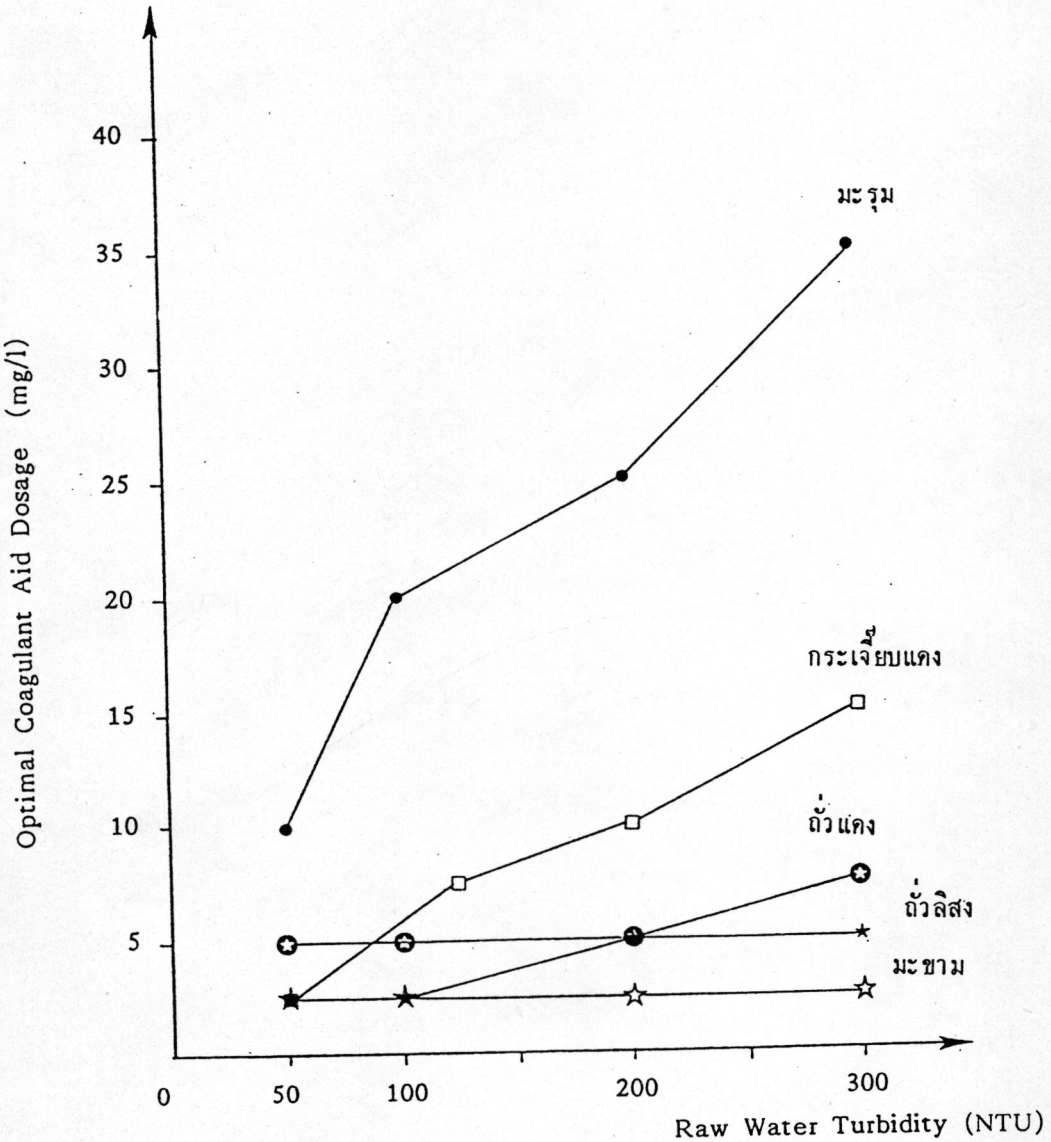
ในการวิจัยนี้ ทำการทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์เอด ของวัสดุธรรมชาติทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ มะรุม กระเจี๊ยบแดง ถั่วแดง ถั่วลิสง และมะขาม โดยนำมาใช้ร่วมกับสารส้ม และเลือกทดลองที่ปริมาณสารส้มเท่ากับ 50% และ 25% ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม (Optimal Alum Dosage) สำหรับแต่ละระดับความขุ่นโดยการทดลองจาร์เทสต์

ผลจากการทดลอง (ดูในตารางที่ ก-37 ถึง ก-76 และ/หรือกราฟรูปที่ ก-1 ถึง ก-40 ในภาคผนวก ก) พบว่า เมล็ดพืชทั้ง 5 ชนิด สามารถเป็นโคแอกกูแลนต์เอดที่ดี โดยสามารถลดปริมาณการใช้สารส้มได้มากถึง 50% แต่ยังผลิตน้ำที่มีคุณภาพดีได้ ปริมาณโคแอก-กูแลนต์เอดที่เหมาะสมสำหรับแต่ละระดับความขุ่นที่หาได้จากการทดลอง และการเปรียบเทียบความขุ่นตกค้าง เมื่อมีการใช้โคแอกกูแลนต์เอดแต่ละชนิด แสดงในตารางที่ 4-10 และแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นในกราฟรูปที่ 4-9 และ 4-10 โดยแยกพิจารณาได้ดังนี้

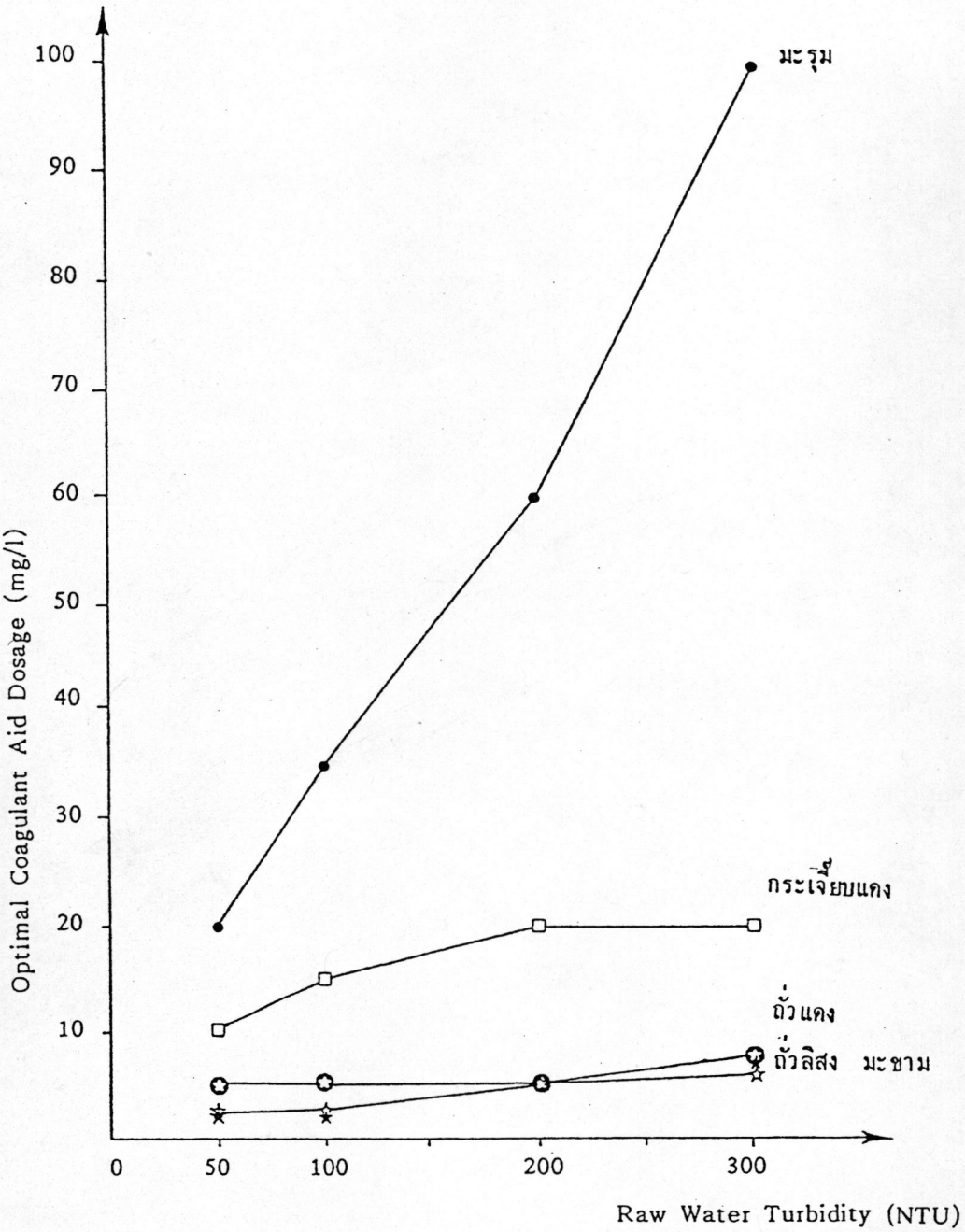
ตารางที่ 4-10 การเปรียบเทียบความขุ่นตกค้าง และปริมาณโคแอกกูแลนต์เอดที่เหมาะสม เมื่อมีการเติมโคแอกกูแลนต์เอด ที่แต่ละระดับความขุ่น

ระดับความขุ่น (NTU)	ปริมาณสารส้ม (มก./ล.)	ความขุ่นตกค้าง, A (NTU) ปริมาณโคแอกกูแลนต์เอดที่เหมาะสม, B (มก./ล.)											
		ไม่เติมเอด		มะรุม		กระเจี๊ยบแดง		ถั่วแดง		ถั่วลิสง		มะขาม	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
50	40*	1.6	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
	20	5.4	-	0.98	10	0.62	2.5	1.50	5	1.0	2.5	0.84	2.5
	10	5.9	-	1.30	20	0.92	10	1.60	5	1.0	2.5	1.20	2.5
100	45*	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	22.5	3.4	-	0.58	20	0.86	7.5	0.98	5	0.67	2.5	0.94	2.5
	11.25	4.5	-	1.30	35	0.93	15	1.30	5	0.81	2.5	1.30	2.5
200	80*	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	6.0	-	0.44	25	0.63	10	0.74	5	1.0	5	0.69	2.5
	20	8.6	-	0.62	60	0.95	20	1.10	5	0.98	5	0.73	5
300	135*	2.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	67.5	9.1	-	0.54	35	0.57	15	0.55	7.5	0.58	5	0.53	2.5
	33.75	9.4	-	0.91	100	0.52	20	0.51	7.5	1.10	7.5	0.61	6

หมายเหตุ * ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม (Optimal Alum Dosage) ที่แต่ละระดับความขุ่น ปริมาณสารส้มที่เลือกใช้ จะใช้ในปริมาณ 50% และ 25% ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม (Optimal Alum Dosage) ในแต่ละระดับความขุ่น



รูปที่ 4-9 ปริมาณโคแอกกูแลนต์เอดที่เหมาะสม ที่แต่ละระดับความขุ่น เมื่อใช้ร่วมกับสารส้ม 50 % ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม



รูปที่ 4-10 ปริมาณโคแอกกูแลนต์เอดที่เหมาะสม ที่แต่ละระดับความขุ่น
เมื่อใช้ร่วมกับสารส้ม 25 % ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

4.1.4.1 การใช้มะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอด

จากการทดลองพบว่า ในการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม สามารถลดปริมาณการใช้สารส้มได้ ตั้งแต่ 50% ขึ้นไป โดยสามารถลดความขุ่นได้เหลือไม่ถึง 1 NTU ที่ทุกระดับความขุ่น แต่ในการใช้มะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เบื้องต้น (Primary Coagulant) ไม่สามารถลดความขุ่นได้ต่ำกว่า 2.6 NTU และเมื่อเทียบกับโคแอกกูแลนต์เอดชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลอง พบว่า จะต้องใช้มะรุมในปริมาณที่มากกว่าโคแอกกูแลนต์เอดชนิดอื่น โดยจะใช้ในปริมาณตั้งแต่ 10 - 100 มก./ล. สำหรับน้ำดิบที่มีความขุ่นอยู่ในช่วง 50 - 300 NTU ปริมาณที่ใช้จะแปรผันโดยตรงกับระดับความขุ่นของน้ำดิบแต่แปรผกผันกับปริมาณสารส้มที่ใช้ร่วมกัน (ดูกราฟรูปที่ 4-9 และ 4-10)

4.1.4.2 การใช้เมล็ดกระเจี๊ยบแดงเป็นโคแอกกูแลนต์เอด

ในการใช้เมล็ดกระเจี๊ยบแดงเป็นโคแอกกูแลนต์เอด พบว่า ที่ระดับความขุ่นต่ำ (50 NTU) ที่ใช้ในการทดลอง กระเจี๊ยบแดงจะแสดงประสิทธิภาพที่ดีกว่าตัวอื่นอย่างเห็นได้ชัด โดยสามารถลดความขุ่นได้ต่ำกว่า 1 NTU ไม่ว่าจะใช้ร่วมกับสารส้มในปริมาณ 50% หรือ 25% ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสมที่ทุกระดับความขุ่น (ดูตารางที่ 4-10) โดยปริมาณที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 2.5 - 20 มก./ล. สำหรับน้ำดิบที่มีความขุ่นอยู่ในช่วง 50 - 300 NTU เมื่อเทียบกับการใช้กระเจี๊ยบแดงเป็นโคแอกกูแลนต์เบื้องต้น พบว่าไม่สามารถลดความขุ่นได้ต่ำกว่า 3.7 NTU ดังนั้นกระเจี๊ยบแดงจึงเหมาะที่จะใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดมากกว่าที่จะใช้เป็นโคแอกกูแลนต์โดยตรง

4.1.4.3 การใช้เมล็ดถั่วแดงเป็นโคแอกกูแลนต์เอด

ในการใช้ถั่วแดงเป็นโคแอกกูแลนต์ หรือโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มพบว่าปริมาณที่เหมาะสมของถั่วแดงค่อนข้างจะคงที่ ไม่ว่าจะลดปริมาณสารส้มเหลือ 50% หรือ 25% ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสมก็ตาม ซึ่งผลการทดลองจะเป็นเช่นเดียวกันที่ทุกระดับความขุ่น และที่ระดับความขุ่นสูง ๆ (300 NTU) ถั่วแดงจะเป็นโคแอกกูแลนต์เอดที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับโคแอกกูแลนต์เอดชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลองโดยสามารถลดความขุ่นได้เหลือไม่ถึง 1 NTU แต่ในการใช้ถั่วแดงเป็นโคแอกกูแลนต์เบื้องต้น พบว่าไม่สามารถลดความขุ่นได้ต่ำกว่า 9.4 NTU ดังนั้นถั่วแดงจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอด มากกว่าที่จะใช้เป็นโคแอกกูแลนต์โดยตรง

4.1.4.4 การใช้ถั่วลิสงเป็นโคแอกกูแลนต์เอด

ในการใช้ถั่วลิสงเป็นโคแอกกูแลนต์เอด พบว่าจะใช้ในปริมาณค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับตัวอื่น ๆ ที่ใช้ในการทดลอง โดยปริมาณที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 2.5 - 7.5 มก./ล.สำหรับน้ำดิบความขุ่น 50 - 300 NTU (ดูตารางที่ 4-10) ฟล็อคที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่กว่า ฟล็อคชนิดอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด และตกตะกอนอย่างรวดเร็วภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที แต่จะมีฟล็อคเล็ก ๆ ที่ตกค้างอยู่ในน้ำ ตกตะกอนอย่างช้า ๆ แตกต่างจากโคแอกกูแลนต์เอดชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งจะเกิดฟล็อคขนาดที่ค่อนข้างใหญ่กว่าฟล็อคสารส้มและตกตะกอนต่อเนื่องกันอย่างสม่ำเสมอ แต่ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นก็ค่อนข้างสูง คือสามารถลดความขุ่นได้ต่ำกว่า 1 NTU เมื่อเทียบกับการใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เบื้องต้น พบว่าไม่สามารถลดความขุ่นได้ต่ำกว่า 3.5 NTU ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถั่วลิสงเหมาะที่จะใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดมากกว่าที่จะใช้เป็นโคแอกกูแลนต์โดยตรง

4.1.4.5 การใช้มะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอด

ในการใช้มะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอด พบว่าจะใช้ปริมาณที่เหมาะสมต่ำกว่าโคแอกกูแลนต์เอดชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด โดยมีปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2.5 - 6 NTU นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณที่เหมาะสมที่หาได้จากการทดลองไม่ว่าจะเป็นโคแอกกูแลนต์หรือโคแอกกูแลนต์เอด จะใช้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน (ดูตารางที่ 4-1 และ 4-10) เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการลดความขุ่นพบว่าในการใช้มะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดสามารถลดความขุ่นได้เหลือไม่ถึง 1 NTU เมื่อเทียบกับการใช้มะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เบื้องต้นจะพบว่าไม่สามารถลดความขุ่นได้ต่ำกว่า 17 NTU ซึ่งแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจนกว่าตัวอื่น

ดังนั้นเมื่อมองภาพรวมแล้วจะเห็นว่า วัสดุธรรมชาติเหล่านี้เมื่อนำมาใช้ในลักษณะของโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม จะมีประสิทธิภาพค่อนข้างดีมาก โดยทุกตัวสามารถลดความขุ่นของน้ำได้ต่ำกว่า 1 NTU ที่ทุกระดับความขุ่นที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์แต่เพียงลำพัง จะไม่สามารถลดความขุ่นของน้ำได้ต่ำกว่า 1.6 NTU (ดูตารางที่ 4-10) และในการใช้โคแอกกูแลนต์เหล่านี้พบว่า ประสิทธิภาพของมันจะยิ่งดีขึ้นตามระดับความขุ่นที่เพิ่มขึ้นคล้ายคลึงกับการใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เบื้องต้น ซึ่งอธิบายได้ว่าในการใช้สารพวกโพลีเมอร์ เป็นโคแอกกูแลนต์ หรือโคแอกกูแลนต์เอดก็ตาม ปริมาณเป้าสัมผัสในน้ำมีความสำคัญต่อการเกิดกลไกแบบดูดติดผิวและสร้างสะพานเชื่อมของโพลีเมอร์ ดังที่ได้อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ 4.1.1 ดังนั้นที่ระดับความขุ่นสูง ๆ ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นจะยิ่งดีขึ้นตามลำดับเพราะมีปริมาณเป้าสัมผัสในน้ำเพิ่มขึ้นดังกล่าว

สำหรับในการทดลองครั้งนี้ เลือกเติมโคแอกกูแลนต์เอดในขั้นตอนกวนเร็วโดยเติมก่อนสารส้ม 30 วินาที ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้น (ดูตารางการทดลองเบื้องต้นที่ 1 ถึง 5 ในภาคผนวก ก) พบว่าเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดสอดคล้องกับJahn(1981) ที่ได้กล่าวแนะนำไว้ว่า ควรเติมโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติก่อนสารส้ม หากเติมพร้อม ๆ กับสารส้ม หรือเติมภายหลังสารส้มจะทำให้ประสิทธิภาพ ในการลดความขุ่นลดลง จากการวิเคราะห์หาชนิดประจุโดยวิธีการไตเตรทคอลลอยด์ ซึ่งพบว่าโคแอกกูแลนต์ทั้ง 5 ชนิด มีประจุบวก ดังนั้นในการใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอด โดยเติมก่อนสารส้มประมาณ 30 วินาที ดังกล่าว ในตอนแรกโคแอกกูแลนต์เอดที่เติมลงไปจะไปเกาะติดที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์โดยอาศัยอิทธิพลของประจุบวก ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนตัวเข้ามาใกล้กันมากยิ่งขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ โคแอกกูแลนต์เอดที่เติมลงไปจะช่วยลดเสถียรภาพของอนุภาคความขุ่นในน้ำซึ่งมักมีประจุลบ โดยอาศัยอิทธิพลประจุบวกของตัวมันเอง หลังจากนั้นเมื่อเติมสารส้มลงไป สารส้มซึ่งจะแตกตัวให้ระจุบวกอย่างรวดเร็วจะไปทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำทั้งหมดได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องใช้ปริมาณมากนักจนเกิดเป็นฟล็อค ซึ่งจากการสังเกตุขนาดฟล็อคที่เกิดขึ้น พบว่ามีขนาดใหญ่กว่าฟล็อคสารส้มเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงคาดว่ากลไกการเชื่อมต่อของโพลีเมอร์เหล่านี้จะมีผลไม่เด่นชัดเท่ากลไกการดูดติดและทำลายเสถียรภาพเนื่องจากประจุตรงข้ามของตัวมันเองและอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำดังกล่าวมาแล้ว ดังนั้นการใช้โคแอกกูแลนต์เอดทั้ง 5 ชนิด จึงช่วยสนับสนุนกลไกการเกิดโคแอกกูเลชั่นด้วยเหตุผลข้างต้น

นอกจากนี้ ในการใช้โคแอกกูแลนต์เอดชนิดต่าง ๆ ยังมีปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณาหลายตัว เช่น ระดับพีเอชของน้ำดิบ ซึ่งในการทดลองนี้มิได้มีการแปรค่าเพื่อศึกษาทั้งนี้เพราะ Jahn (1981) ได้กล่าวว่า โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติเหล่านี้สามารถใช้ได้ดีกับน้ำที่มีความผันแปรของระดับพีเอชกว้างกว่า การใช้สารส้ม นอกจากนี้ ความเร็วในการกวน และเวลาที่ใช้ในการสมานตะกอน (flocculation time) ก็มีความสำคัญที่ควรพิจารณา สำหรับการทดลองนี้ทำตามแบบของ ASTM ซึ่งต้องการให้มีมาตรฐานเดียวกันตลอดการทดลอง จึงมิได้มีการแปรค่าดังกล่าว ดังนั้นหากจะมีการนำเอาโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติเหล่านี้ไปใช้งาน ควรต้องมีการศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ เพื่อให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการใช้โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติแต่ละชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการนำไปใช้งานจริงต่อไป

4.1.5 การตรวจสอบชนิด และวัดปริมาณประจุคอลลอยด์ ของสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ และสารละลายสารส้ม

ในการทดลองใช้เทคนิคการไตเตรทคอลลอยด์ ตรวจสอบชนิดและวัดปริมาณประจุคอลลอยด์ของสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ ทั้ง 5 ชนิด และสารละลายสารส้ม

โดยทำการแปรค่าความเข้มข้นตั้งแต่ 2-10 มก./ล. ที่ระดับพีเอช 4,7 และ 9 ตามลำดับ (ดูในตารางที่ ก-77 ถึง ก-83 ในภาคผนวก ก) ผลการทดลองสรุปไว้ในตารางที่ 4-11 ถึง 4-13 ซึ่งสามารถแสดงผลเปรียบเทียบในลักษณะของกราฟเชิงเส้น ได้ดังรูปที่ 4-11 ถึง 4-13 จากผลการทดลองพบว่าสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติทั้ง 5 ชนิด มีคอลลอยด์ชนิดประจุบวกทั้งหมด ทั้งที่พีเอชระดับเป็นกลาง เป็นกรด และเป็นด่างคือที่พีเอช 4,7 และ 9 ค่าของประจุที่วัดได้ เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น และมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับพีเอช กล่าวคือ ประจุของคอลลอยด์จะสูงที่พีเอชต่ำ และจะลดลงเมื่อพีเอชสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณประจุคอลลอยด์ของสารละลายสารส้ม และสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ทั้ง 5 ชนิด พบว่า สารละลายสารส้มมีการเพิ่มปริมาณประจุ ตามความเข้มข้นในอัตราที่เร็วกว่าสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ทั้ง 5 ชนิด และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชโดยการเพิ่มพีเอชขึ้นไปเรื่อย ๆ จะเห็นได้ว่า สารส้มมีการลดปริมาณประจุเร็วกว่าสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ทั้ง 5 ชนิด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า สารละลายสารส้มมีความไว (Sensitive) ต่อการเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชมากกว่าสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติทั้ง 5 ชนิด (พิจารณาที่ความเข้มข้นสูง ๆ 10 มก./ล. จะเห็นผลได้ชัดเจน)

จากผลการทดลองการไตเตรทคอลลอยด์วิจารณ์ได้ว่า สารละลายสารส้มมีการแตกตัวให้อิออนประจุบวกในน้ำได้มากกว่าสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติทั้ง 5 ชนิด จึงมีการเพิ่มปริมาณประจุตามความเข้มข้นในอัตราที่เร็วกว่า และจากการทดลองซึ่งพบว่าสารละลายสารส้มมีความไว ต่อการเปลี่ยนแปลงระดับพีเอช มากกว่าสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติทั้ง 5 ชนิด ก็สนับสนุนผลการทดลองจาร์เทสต์และการหาค่าดัชนีการกรอง จึงทำให้เห็นข้อดีของการใช้โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติว่า สามารถใช้กับน้ำดิบในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าสารส้ม เพราะการเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณประจุน้อยกว่าสารส้ม

เนื่องจากประจุของโพลีเมอร์ชนิดประจุบวก มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้น ซึ่ง แสดงว่า ปฏิกิริยาระหว่างคอลลอยด์ประจุบวกของโพลีเมอร์ และคอลลอยด์ประจุลบของพีวีเอสเอเค เป็นการลบล้างประจุซึ่งกันและกันแบบสตอยชิโอเมตริก ดังนั้นการวัดประจุของโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ อาจเป็นเทคนิคที่สามารถใช้เลือกชนิดโคแอกกูแลนต์ ซึ่งจะนำไปใช้ในการโคแอกกูเลชั่นที่อาศัยอิทธิพลประจุบวกของคอลลอยด์ในสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติเหล่านี้ได้

ในการศึกษาครั้งนี้ ไม่ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของโคแอกกูแลนต์กับคุณสมบัติของน้ำที่จะทำโคแอกกูเลชั่น กล่าวคือ ไม่ได้ทำการวัดประจุคอลลอยด์หลังการกวนผสมหรือประจุในน้ำใสหลังการตกตะกอนแล้วในขั้นตอนจาร์เทสต์ จึงยังไม่สามารถใช้เทคนิคการไตเตรทคอลลอยด์ทำนายชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของโคแอกกูแลนต์ได้

ตารางที่ 4-11 ค่าประจุของสารละลายสารส้ม และสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ ที่พีเอช 4

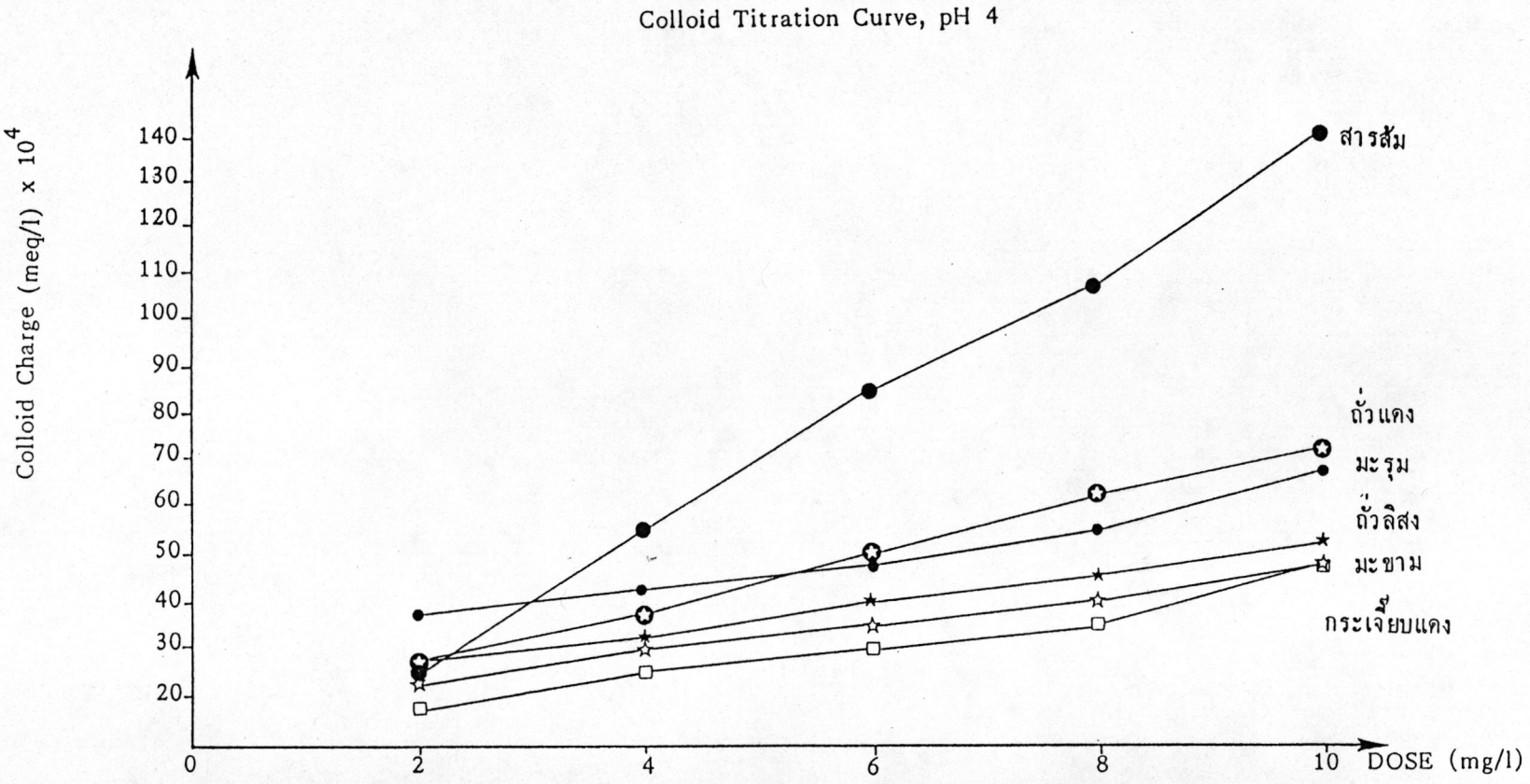
ความเข้มข้น (มก./ล.)	ประจุ (meq/l) x 10^4					
	ชนิดของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้					
	สารส้ม	มะรุม	กระเจี๊ยบแดง	ถั่วแดง	ถั่วลิสง	มะขาม
2	+ 25	+ 37.5	+ 17.5	+ 27.5	+ 27.5	+ 22.5
4	+ 55	+ 42.5	+ 25.0	+ 37.5	+ 32.5	+ 30.0
6	+ 85	+ 47.5	+ 30.0	+ 50.0	+ 40.0	+ 35.0
8	+ 107.5	+ 55.0	+ 35.0	+ 62.5	+ 45.0	+ 40.0
10	+ 140.0	+ 67.5	+ 47.5	+ 72.5	+ 52.5	+ 47.5

ตารางที่ 4-12 ค่าประจุของสารละลายสารส้ม และสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ ที่พีเอช 7

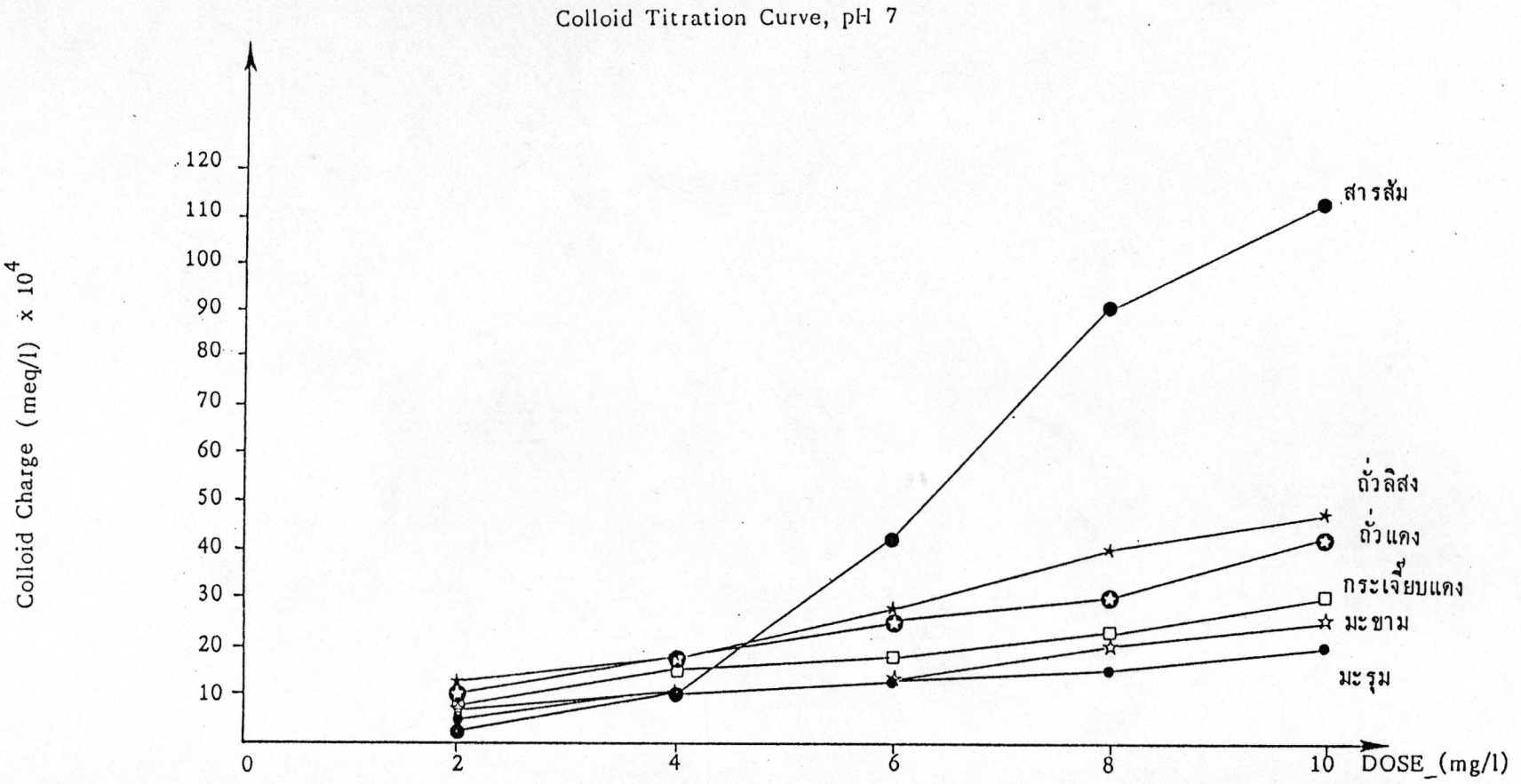
ความเข้มข้น (มก./ล.)	ประจุ (meq/l) x 10^4					
	ชนิดของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้					
	สารส้ม	มะรุม	กระเจี๊ยบแดง	ถั่วแดง	ถั่วลิสง	มะขาม
2	+ 2.5	+ 5	+ 10	+ 10	+ 12.5	+ 7.5
4	+ 10	+ 10	+ 15	+ 17.5	+ 17.5	+ 10
6	+ 42.5	+ 12.5	+ 17.5	+ 25.0	+ 27.5	+ 12.5
8	+ 90	+ 15	+ 22.5	+ 30.0	+ 40.0	+ 20
10	+ 112.5	+ 20	+ 30.0	+ 42.5	+ 47.5	+ 25

ตารางที่ 4-13 ค่าประจุของสารละลายสารส้ม และสารแขวนลอยโคแอกกูแลนต์ พีพีเอช 9

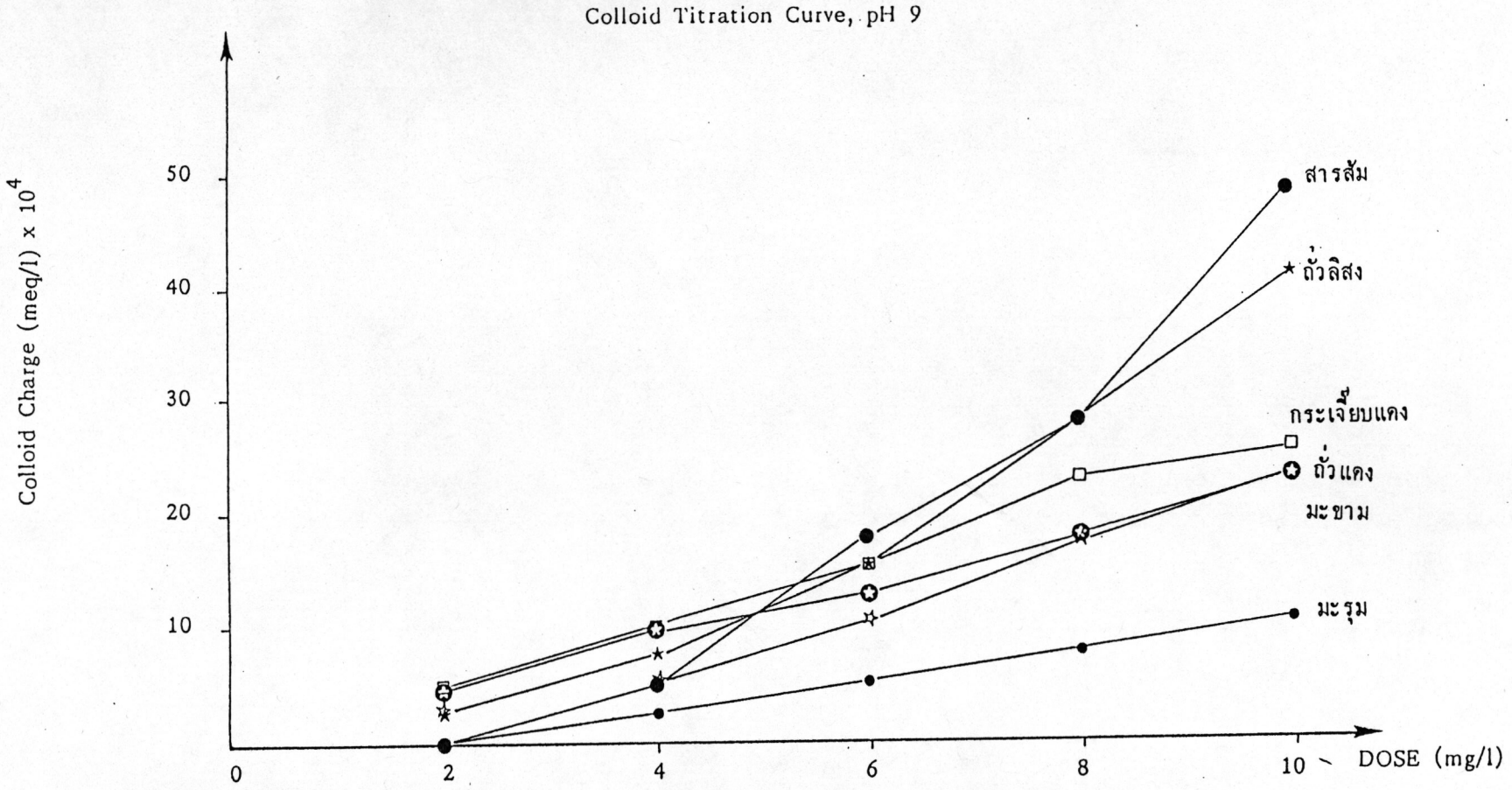
ความเข้มข้น (มก./ล.)	ประจุ (meq/l) x 10^4					
	ชนิดของโคแอกกูแลนต์ที่ใช้					
	สารส้ม	มะรุม	กระเจี๊ยบแดง	ถั่วแดง	ถั่วลิสง	มะขาม
2	+ 0	+ 0	+ 5	+ 5	+ 2.5	+ 2.5
4	+ 5	+ 2.5	+ 10	+ 10	+ 7.5	+ 5.0
6	+ 17.5	+ 5.0	+ 15	+ 12.5	+ 15	+ 10.0
8	+ 27.5	+ 7.5	+ 22.5	+ 17.5	+ 27.5	+ 17.5
10	+ 47.5	+ 10.0	+ 25	+ 22.5	+ 40	+ 22.5



รูปที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประจุคอลลอยด์ และความเข้มข้น ที่พีเอช 4



รูปที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประจุคอลลอยด์ และความเข้มข้น ที่พีเอช 7



รูปที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประจุคอลลอยด์ และความเข้มข้น ที่พีเอช 9

4.2 การประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ เปรียบเทียบกับสารส้ม

โดยทั่วไปแล้ว การประเมินต้นทุนในการผลิตน้ำประปา จะคิดจากค่าใช้จ่ายในด้านต่าง ๆ 4 ประการด้วยกันคือ ค่าสารเคมี (Chemicals) ที่ใช้ในการปรุงแต่งสภาพน้ำดิบอันได้แก่ สารโคแอกกูแลนต์ โคแอกกูแลนต์เอด สารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค และสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพพีเอช ค่าพลังงาน (Power) อันได้แก่ ค่าไฟฟ้าและค่าน้ำมันที่ใช้ในการเดินเครื่องจักรในระบบ ค่าบำรุงรักษา ซ่อมแซมระบบ (Operation and Maintenance) และค่าจ้างคนดูแลควบคุมระบบ (Salary)

สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการประเมินค่าใช้จ่ายเฉพาะในส่วนของค่าสารเคมี คือ สารโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอด ที่ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ซึ่งราคาของวัสดุที่ใช้และค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของน้ำดิบที่ทำการประเมินได้ แสดงในตารางที่ 4-14 และ 4-15 ตามลำดับ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

4.2.1 การใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

- ราคาสารส้มต่อหน่วย = 4 บาท/กิโลกรัม
- ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม = 40 มก./ล.
- * ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = 40 x 4 x 0.001
  = 0.160 บาท/ลบ.ม.

หมายเหตุ * จากข้อมูลคุณภาพน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา ของการประปานครหลวงและการประปาภูมิภาค พบว่า ระดับความขุ่นของน้ำดิบโดยเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 50 NTU ในที่นี้จึงเลือกผลการทดลองที่ระดับความขุ่น 50 NTU มาใช้ในการประเมินค่าใช้จ่าย

ตารางที่ 4-14 ราคาวัสดุที่ใช้ในการบำบัดน้ำ

ชนิด	ราคาต่อหน่วย * บาท/กิโลกรัม	ราคาที่ใช้ในการประเมิน บาท/กิโลกรัม	แหล่งข้อมูล
สารส้ม	3.50-4.78	4	การประปาภูมิภาค
โซดาแอช(Na_2CO_3)	6-8	7	ราคาตามท้องตลาด
เมล็ดถั่วแดง	10-12	11	ปากคลองตลาด
เมล็ดถั่วลิสง	22-26	24	ปากคลองตลาด
มะรุมฝักสด	8-10	9	ปากคลองตลาด
เมล็ดมะขาม	2-4	3	ปากคลองตลาด
เมล็ดกระเจี๊ยบ	1.00	1	แหล่งผลิต จ.สระบุรี

หมายเหตุ * ราคาที่แสดงเป็นราคาในเดือนมีนาคม, 2533

ตารางที่ 4-15 การประเมินค่าใช้จ่าย ในการใช้วัสดุธรรมชาติ เป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม เปรียบเทียบกับค่าความขุ่นตกค้าง ภายหลังการบำบัด

กรณีที่	ชนิดโคแอกกูแลนต์	ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำต่อหน่วย (บาท/1000 ลบ.ม.)	ความขุ่นตกค้าง (NTU)
1	สารส้ม	160	1.6
2	มะรุม	24,800	5.20
3	มะรุม+สารส้ม (A)	1,630	1.30
4	มะรุม+สารส้ม (B)	3,140	0.98
5	กระเจี๊ยบแดง	79	12
6	กระเจี๊ยบแดง+สารส้ม (A)	96	0.62
7	กระเจี๊ยบแดง+สารส้ม (B)	103	0.92
8	ถั่วแดง	78	17
9	ถั่วแดง+สารส้ม (A)	158	1.50
10	ถั่วแดง+สารส้ม (B)	118	1.60
11	ถั่วลิสง	136	3.7
12	ถั่วลิสง+สารส้ม (A)	148	1.0
13	ถั่วลิสง+สารส้ม (B)	108	1.0
14	มะขาม	21	17
15	มะขาม+สารส้ม (A)	80	0.84
16	มะขาม+สารส้ม (B)	60	1.20

หมายเหตุ ปริมาณที่ใช้ในการคำนวณ เป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับระดับความขุ่น 50 NTU

A = 50% ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

B = 25% ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

4.2.2 การใช้มะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอด

ราคามะรุมฝักสด = 9 บาท/กก.
มะรุม 1 กิโลกรัม มีปริมาณเมล็ดมะรุมเพียง 60 กรัม
ดังนั้น เมล็ดมะรุม 1 กิโลกรัม ราคา = 1000 x 9/60
= 150 บาท

ค่าจ้างในการบดเมล็ด = 5 บาท/กก.
* ต้นทุนในการผลิตโคแอกกูแลนต์จากมะรุม = 150+5
= 155 บาท

เมื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์

ปริมาณที่เหมาะสม = 160 มก./ล.
* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = 160 x 155 x 0.001
= 24.80 บาท/ลบ.ม.

เมื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอด

กรณีที่ 1

ใช้มะรุม 10 มก./ล. + สารส้ม 20 มก./ล. (50% optimum dose)
* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = (10x155x0.001) + (20x4x0.001)
= 1.63 บาท/ลบ.ม.

กรณีที่ 2

ใช้มะรุม 20 มก./ล. + สารส้ม 10 มก./ล. (25 % optimum dose)
* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = (20x155x0.001) + (10x4x0.001)
= 3.14 บาท/ลบ.ม.

4.2.3 การใช้เมล็ดกระเจี๊ยบแดงเป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอด

- ราคาเมล็ดกระเจี๊ยบจากแหล่งผลิต (จ.สระบุรี) = 1 บาท/กก.
- ราคาโซดาแอช = 7 บาท/กก.
  (ใช้ผสมกับผงกระเจี๊ยบในอัตรา 1:9)
  ค่าขนส่ง คิดจากค่าเช่ารถบรรทุก 10 ล้อ ขนาดบรรทุก 13 ตัน/คัน
  เที่ยวละ 2500 บาท (ระยะทาง 100 - 150 กิโลเมตร)
- ค่าขนส่งต่อหน่วย = 0.20 บาท/กก.
- ค่าจ้างในการบดเมล็ด = 5 บาท/กก.

ผงกระเจี๊ยบ 1 กิโลกรัมราคา = 1+0.20+5
= 6.20 บาท

* รวมต้นทุนในการผลิตโคแอกกูแลนต์จากกระเจี๊ยบ = (0.9x6.20)+(0.1x7)
= 6.30 บาท/กก.

เมื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์

ปริมาณที่เหมาะสม = 12.5 มก./ล.

* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = 12.5x6.30x0.001
= 0.079 บาท/ลบ.ม.

เมื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอด

กรณีที่ 1 ใช้กระเจี๊ยบแดง 2.5 มก./ล. + สารส้ม 20 มก./ล.

* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = (2.5x6.3x0.001) + (20x4x0.001)
= 0.096 บาท/ลบ.ม.

กรณีที่ 2 ใช้กระเจี๊ยบแดง 10 มก./ล. + สารส้ม 10 มก./ล.

* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = (10x6.3x0.001) + (10x4x0.001)
= 0.103 บาท/ลบ.ม.

4.2.4 การใช้ถั่วแดง เป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอด

ราคาเมล็ดถั่วแดง = 11 บาท/กก.
ในเมล็ดถั่วแดง 100% จะมีเนื้อถั่วแดง (ไม่รวมเยื่อหุ้มเมล็ด) เพียง 95%
ราคาเนื้อถั่วแดง = 11x1/0.95
= 11.60 บาท/กก.
ราคาโซดาแอช (ใช้ผสมกับถั่วแดงในอัตรา 1:9) = 7 บาท/กก.
ค่าจ้างในการบดเมล็ด = 5 บาท/กก.
ดังนั้นผงถั่วแดง 1 กิโลกรัมราคา = 11.60 + 5
= 16.60 บาท

* ต้นทุนในการผลิตโคแอกกูแลนต์จากถั่วแดง = (0.9x16.60) + (0.1x7)
= 15.60 บาท/กก.

เมื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์

ปริมาณที่เหมาะสม = 5 มก./ล.
* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = 5 x 15.60 x 0.001
= 0.078 บาท/ลบ.ม.

เมื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอด

กรณีที่ 1 ใช้ถั่วแดง 5 มก./ล. + สารส้ม 20 มก./ล.
* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = (5x15.60x0.001) + (20x4x0.001)
= 0.158 บาท/ลบ.ม.

กรณีที่ 2 ใช้ถั่วแดง 5 มก./ล. + สารส้ม 10 มก./ล.

* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = (5x15.60x0.001) + (10x4x0.001)
= 0.118 บาท/ลบ.ม.

4.2.5 <u>การใช้ถั่วลิสง เป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอด</u>

ราคาเมล็ดถั่วลิสง = 24 บาท/กก.

ในเมล็ดถั่วลิสง 100% จะมีเนื้อถั่วลิสง (ไม่รวมเยื่อหุ้มเมล็ด) 95%

ราคาเนื้อถั่วลิสงจริง = 24x1/0.95

= 25.25 บาท/กก.

ราคาโซดาแอช (ใช้ผสมกับถั่วลิสงในอัตรา 1:9) = 7 บาท/กก.

ค่าจ้างในการบดเมล็ด = 5 บาท/กก.

ดังนั้นผงถั่วลิสง 1 กิโลกรัมราคา = 25.25+5

= 30.25 บาท

* ต้นทุนในการผลิตโคแอกกูแลนต์จากถั่วลิสง = (0.9x30.25) + (0.1x7)

= <u>27.20</u> บาท/กก.

<u>เมื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์</u>

ปริมาณที่เหมาะสม = 5 มก./ล.

* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = 5 x 27.20 x 0.001

= <u>0.136</u> บาท/ลบ.ม.

<u>เมื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอด</u>

<u>กรณีที่ 1</u> ใช้ถั่วลิสง 2.5 มก./ล. + สารส้ม 20 มก./ล.

* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = (2.5x27.20x0.001) + (20x4x0.001)

= <u>0.148</u> บาท/ลบ.ม.

<u>กรณีที่ 2</u> ใช้ถั่วลิสง 2.5 มก./ล. + สารส้ม 10 มก./ล.

* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = (2.5x27.20x0.001) + (10x4x0.001)

= <u>0.108</u> บาท/ลบ.ม.

4.2.6 การใช้มะขาม เป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอด

ราคาเมล็ดมะขาม = 3 บาท/กก.

ในเมล็ดมะขาม 100% จะมีเนื้อมะขาม (ไม่รวมเยื่อหุ้มเมล็ด) 85%

ราคาเนื้อเมล็ดมะขามจริง = 3x1/0.85

= 3.50 บาท/กก.

ราคาโซดาแอช (ใช้ผสมกับมะขามในอัตรา 1:9) = 7 บาท/กก.

ค่าจ้างในการบดเมล็ด = 5 บาท/กก.

ดังนั้นผงมะขาม 1 กิโลกรัมราคา = 3.50+5

= 8.50 บาท

* ต้นทุนในการผลิตโคแอกกูแลนต์

จากเมล็ดมะขาม = (0.9x8.50) + (0.1x7)

= 8.35 บาท/กก.

เมื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์

ปริมาณที่เหมาะสม = 2.5 มก./ล.

* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = 2.5 x 8.35 x 0.001

= 0.021 บาท/ลบ.ม.

เมื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอด

กรณีที่ 1 ใช้มะขาม 2.5 มก./ล. + สารส้ม 20 มก./ล.

* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = (2.5x8.35x0.001) + (20x4x0.001)

= 0.080 บาท/ลบ.ม.

กรณีที่ 2 ใช้มะขาม 2.5 มก./ล. + สารส้ม 10 มก./ล.

* ต้นทุนในการผลิตน้ำต่อหน่วย = (2.5x8.35x0.001) + (10x4x0.001)

= 0.060 บาท/ลบ.ม.

จากตารางที่ 4-15 ซึ่งเป็นการประเมินค่าใช้จ่าย ในการใช้วัสดุธรรมชาติที่นำมาทดลองเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม พิจารณาเปรียบเทียบกับค่าความขุ่นตกค้างภายหลังการบำบัด พบว่า วัสดุธรรมชาติที่นำมาทดลองหลายชนิด สามารถนำมาใช้ในรูปของโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มได้ดี โดยเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำต่ำกว่าการใช้สารส้มแต่เพียงลำพังทั้งยังมีประสิทธิภาพเหนือกว่าสารส้มในการลดความขุ่นของน้ำ เมื่อพิจารณาจากค่าความขุ่นตกค้างประกอบกัน สรุปแยกตามชนิดพืชได้ดังนี้

มะรุม

ในการทดลองใช้มะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม ถึงแม้จะให้ผลดีในแง่ของการนำมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอด เพราะสามารถลดความขุ่นของน้ำได้ต่ำกว่าการใช้สารส้มแต่เพียงลำพัง แต่เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายแล้วจะเห็นว่าสูงกว่าการใช้สารส้มหรือโคแอกกูแลนต์ชนิดอื่นมาก ทั้งนี้เพราะปริมาณที่เหมาะสมในการใช้มะรุมค่อนข้างสูง และจากการประเมินราคาโคแอกกูแลนต์ที่ผลิตได้จากมะรุม ซึ่งมีราคาสูงถึงกิโลกรัมละ 155 บาท ทั้งนี้เพราะราคาต่อกิโลกรัมของเมล็ดมะรุมที่นำมาคำนวณคิดจากราคาขายของมะรุมสดทั้งฝักที่ขายตามท้องตลาด เนื่องจากไม่มีการจำหน่ายเฉพาะเมล็ดมะรุม เหมือนพืชชนิดอื่น จึงทำให้เราทราบว่า มะรุมไม่เหมาะสำหรับการนำมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ หรือโคแอกกูแลนต์เอดในประเทศของเรา แต่เหมาะสำหรับการนำมาบริโภคมากกว่าจุดประสงค์อื่น ซึ่งต่างจากประเทศในแถบอัฟริกา ที่นิยมปลูกต้นมะรุมตามริมรั้ว หรือปลูกแทนรั้วบ้าน ทำให้สามารถหาได้ง่าย และแทบจะไม่มีราคาเลยด้วยเหตุนี้จึงสรุปได้ว่า มะรุมเป็นวัสดุธรรมชาติที่ไม่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ หรือโคแอกกูแลนต์เอด สำหรับระบบประปาในประเทศไทย

กระเจี๊ยบแดง

ในการทดลองใช้กระเจี๊ยบแดง เป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม พบว่า ได้ผลดีในแง่ของการใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอด เพราะสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพดีเหนือกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว และยังเสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่ามาก โดยสามารถประหยัดได้ถึง 55% (ในกรณีที่ 6) ทั้งนี้เพราะเมล็ดกระเจี๊ยบแดงเป็นวัสดุเหลือใช้ แทบจะไม่มีราคาเลยสำหรับบ้านเรา ในปัจจุบันมีการนำเมล็ดกระเจี๊ยบแดงมาสกัดน้ำมัน ปนลงในน้ำมันพืชที่ขายตามท้องตลาด เพื่อลดต้นทุนในการผลิตน้ำมันพืชลง (เมล็ดกระเจี๊ยบแดง เมื่อสกัดแล้วจะได้น้ำมันมากถึง 20% โดยน้ำหนัก) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ ที่จะนำเมล็ดกระเจี๊ยบแดง มาใช้เป็นโคแอก-กูแลนต์เอดในระบบประปาต่อไปในอนาคต

ถั่วแดง

ในการทดลองใช้ถั่วแดงเป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอด ร่วมกับสารส้ม พบว่า ถั่วแดงมีแนวโน้มที่จะเป็นโคแอกกูแลนต์เอดที่ดี โดยเฉพาะที่ความขุ่นของน้ำดิบสูง ๆ (300 NTU) ถั่วแดงจะให้ประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์เอด ที่ดีเหนือกว่าพืชชนิดอื่น ที่นำมาทดลองด้วยกัน และจากการประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกับสารส้ม พบว่า ในการใช้ถั่วแดงเป็นโคแอกกูแลนต์เอด จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากถึง 26% (ในกรณีที่ 10) จึงน่าที่จะมีการนำพืชชนิดนี้มาทดลองเพิ่มเติม เพื่อศึกษาในรายละเอียดต่อไป โดยเฉพาะในแง่ของการใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอด ในช่วงระดับความขุ่นที่สูงกว่า 300 NTU ซึ่งเป็นระดับความขุ่นสูงสุดของการศึกษาครั้งนี้

ถั่วลิสง

ในการทดลองใช้ถั่วลิสงเป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม พบว่า ถั่วลิสงสามารถเป็นได้ทั้งโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดที่ดี ถึงแม้ว่าจะเป็นโคแอก-กูแลนต์ที่ไม่ดีเท่าสารส้ม เพราะให้ความขุ่นตกค้างสูงกว่าสารส้มก็ตาม (ในการใช้ถั่วลิสงเป็นโคแอกกูแลนต์จะให้ความขุ่นตกค้าง 3.7 NTU ในขณะที่สารส้มจะให้ความขุ่นตกค้าง 1.6 NTU) แต่ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นถั่วลิสงจึงเป็นวัสดุธรรมชาติที่นำมาทดลองเพียงชนิดเดียว ที่มีแนวโน้มจะใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เบื้องต้น(Primary Coagulant) ได้ นอกจากนี้ในการประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกับสารส้มพบว่า การใช้ถั่วลิสงเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากถึง 32.5% (ในกรณีที่ 13) แต่ในการทดลองพบข้อเสียของการใช้ถั่วลิสงประการหนึ่งคือ น้ำที่ผ่านการตกตะกอนโดยใช้ถั่วลิสงเป็นโคแอกกูแลนต์ จะมีคราบน้ำมันลอยอยู่ที่ผิวหน้า ทำให้เกิดสภาพที่ไม่น่าดู ทั้งนี้เนื่องจากถั่วลิสงเป็นพืชที่มีองค์ประกอบเป็นไขมันสูงมากถึง 50% โดยน้ำหนัก ดังนั้นหากมีการนำไปใช้งานจริงในระบบประปาควรมีการพิจารณาในแง่นี้ด้วย

มะขาม

ในการทดลองใช้มะขามเป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม พบว่า มะขามเป็นโคแอกกูแลนต์ที่ไม่ดี แต่เป็นโคแอกกูแลนต์เอดที่ดีและในการประเมินค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกับสารส้ม พบว่า ในการใช้มะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม จะเสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด โดยสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากถึง 62.5% (กรณีที่ 16) ทั้งนี้เพราะมะขามใช้ปริมาณที่เหมาะสมต่ำที่สุด และมีราคาค่อนข้างถูก ทั้งยังหาได้ง่ายและจัดว่าเป็นวัสดุเหลือใช้ในประเทศของเรา

ดังนั้นเมื่อมองภาพรวมแล้วจะเห็นได้ว่า พืชที่นำมาทดลองทั้ง 5 ชนิดนี้เหมาะที่จะใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม มากกว่าใช้เป็นโคแอกกูแลนต์โดยตรง มะขามเป็นพืชที่น่าสนใจ ควรแก่การนำมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดมากที่สุด เพราะเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำต่ำที่สุด และยังผลิตน้ำที่มีคุณภาพดีกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวได้ (ดูในกรณีที่ 15 และ 16) รองลงมาคือ กระเจี๊ยบแดง (ในกรณีที่ 6) ถั่วลิสง (ในกรณีที่ 13) และถั่วแดง (ในกรณีที่ 10) ตามลำดับ และถั่วลิสง เป็นพืชเพียงชนิดเดียวที่อาจนำมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เบื้องต้นได้ (ในกรณีที่ 11)

4.3 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย ของการใช้โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติกับสารส้ม

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ในการใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม จะให้ผลดีกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้	1. หากใช้เป็นโคแอกกูแลนต์โดยตรง จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าสารส้ม
2. ไม่ทำให้ค่าพีเอช และค่าอัลคาไลนิตี้ของน้ำดิบเปลี่ยนแปลง	2. มีวิธีการเตรียมยุ่งยากกว่าสารส้ม และไม่สามารถเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายได้ จึงไม่สะดวกในการใช้งานเท่าสารส้ม
3. หาง่าย พบได้ทั่วไป และไม่ต้องซื้อหากสามารถปลูกได้เอง	3. มีอายุการใช้งานสั้นกว่าสารส้ม เนื่องจากเป็นสารอินทรีย์ ในการเตรียมเพื่อใช้งานต้องใช้ภายในครั้งเดียว หากเหลือใช้ต้องมีการเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น มิฉะนั้นจะเสื่อมสภาพได้ง่าย
4. เป็นการนำเอาวัสดุธรรมชาติเหลือใช้บางชนิดมาใช้ให้เป็นประโยชน์ เช่น เมล็ดมะขาม เมล็ดกระเจี๊ยบแดง	4. ไม่สามารถควบคุมปริมาณองค์ประกอบภายในเมล็ดให้คงที่ได้ ดังนั้นเมล็ดพืชชนิดเดียวกัน หากต่างสายพันธุ์ ก็จะมีประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์ไม่เท่ากัน
	5. ยังไม่มีการศึกษารายละเอียดถึง กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่แน่นอน และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นหากมีการนำไปใช้งานในระบบประปาจริง

4.4 แนวทางการนำเอาโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติมาประยุกต์ใช้

เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้เป็นเพียงการวิจัยเบื้องต้น เพื่อคัดเลือกเอาวัสดุธรรมชาติที่มีรายงานว่าสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ได้ มาทดสอบให้เห็นจริง ซึ่งจากการทดลองก็ได้ผลดีเป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือ โคแอกกูแลนต์ธรรมชาติที่นำมาทดลองทั้ง 5 ชนิด มีความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม โดยที่ระดับความขุ่นปกติของน้ำดิบตามแหล่งน้ำธรรมชาติ (50 - 100 NTU) พบว่าโคแอกกูแลนต์ที่นำมาทดลองและให้ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นสูงกว่า 90% มี 3 ชนิดด้วยกันคือ มะรุม กระเจี๊ยบแดง และถั่วลิสง ซึ่งเป็นโคแอก-กูแลนต์ธรรมชาติที่ดีที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ ถึงแม้ว่าในการประเมินค่าใช้จ่ายจะพบว่า มะรุม ไม่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานในระบบประปาจริง เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการใช้สารส้มมาก แต่อาจมีความเป็นไปได้สำหรับการนำไปใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ในระดับพื้นบ้าน โดยเฉพาะหากสามารถปลูกไว้ใช้งานเอง

ดังนั้นสำหรับในเบื้องต้นนี้จึงขอเสนอแนวทางทั่วไปในการนำเอาวัสดุธรรมชาติดังกล่าวมาใช้เป็นสารตกตะกอนเบื้องต้น ในระดับครัวเรือนเท่านั้น ทั้งนี้เพราะหากจะนำไปใช้งานจริงในระบบประปา จะต้องมีการศึกษาถึงรายละเอียดในแง่มุมต่าง ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมมากกว่านี้ อาทิเช่น ปริมาณสารอินทรีย์ที่ตกค้างในน้ำหลังตกตะกอน อันจะมีผลต่อการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำภายหลัง ผลต่อกลิ่นและรสชาดของน้ำ การคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการเป็นโคแอกกูแลนต์ ตลอดจนผลกระทบข้างเคียงหากมีการนำเอาวัสดุธรรมชาติเหล่านี้ไปใช้งานในระบบประปาเป็นจำนวนมาก เช่น อาจเกิดความขาดแคลนในท้องตลาดจนไม่เพียงพอต่อการบริโภค เป็นต้น

แนวทางในการนำเอาโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ ซึ่งรวบรวมจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ มีดังนี้

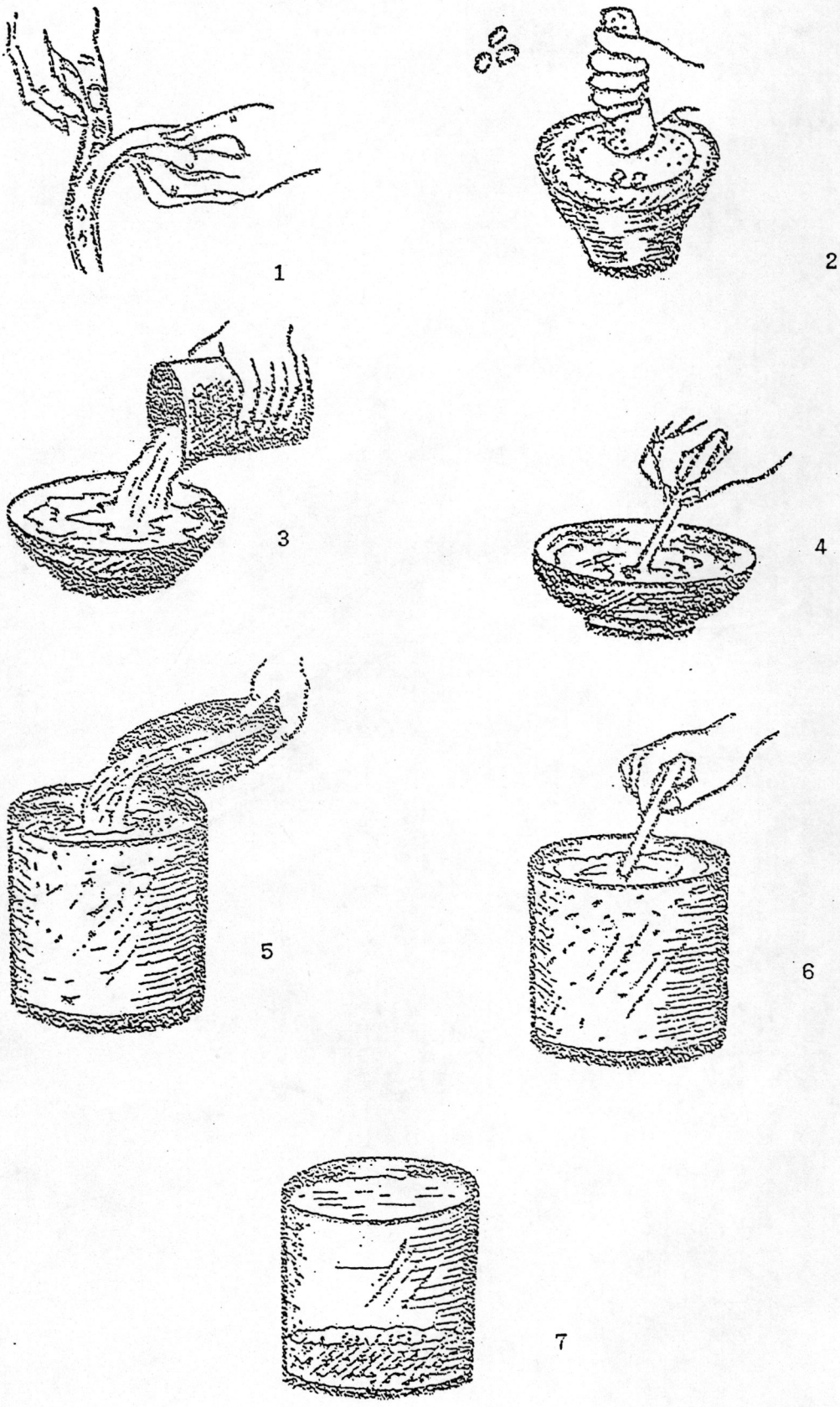
4.4.1 โคแอกกูเลชั่นอย่างง่าย (สภาสังคมสงเคราะห์, 2532)

หน่วยงานในสภาสังคมสงเคราะห์ที่มีชื่อว่า โครงการแลกเปลี่ยนพัฒนาและเผยแพร่เทคโนโลยีที่เหมาะสม แก่ชนบทในกลุ่มประเทศอาเซี่ยน (UDO) ได้เผยแพร่วิธีการทำให้น้ำตกตะกอน โดยใช้วัสดุธรรมชาติ ซึ่งได้แก่เมล็ดมะรุม โดยมีวิธีการนำมาใช้คล้ายคลึงกับในการทดลองครั้งนี้ (ดูรูปที่ 4-14 ประกอบ)

1. แกะเมล็ดมะรุมแห้งออกจากฝัก
2. นำเมล็ดมะรุมแห้ง 2-3 เมล็ด หรือประมาณ 1 กรัม (มะรุม 1 เมล็ด หนักประมาณ 0.2 - 0.4 กรัม) ไปโขลกหรือบดให้ละเอียด
3. เติมน้ำประมาณครึ่งแก้ว ลงในเมล็ดมะรุมที่บดหรือโขลกจนละเอียดแล้ว
4. ใช้ไม้พายคนเร็ว ๆ ประมาณ 1 นาที แล้วค่อยคนช้า ๆ ประมาณ 4-5 นาที เพื่อให้เข้ากันดี
5. นำของเหลวที่ได้ไปเทใส่ในน้ำดิบที่ต้องการตกตะกอน ประมาณ 5 ลิตร
6. ใช้ไม้พายคนเร็ว ๆ แล้วค่อยช้าประมาณ 4 - 5 นาที เพื่อให้เข้ากันดี
7. ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 1 - 2 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำตกตะกอน (ประมาณ 15 นาที เราสามารถสังเกตุเห็นการตกตะกอนบ้างแล้ว)

ถึงแม้น้ำที่ได้จะค่อนข้างใส แต่เมล็ดมะรุมไม่สามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้ดังนั้นถ้าต้องการนำน้ำไปใช้ในการบริโภค จะต้องนำไปต้มให้เดือดเสียก่อน

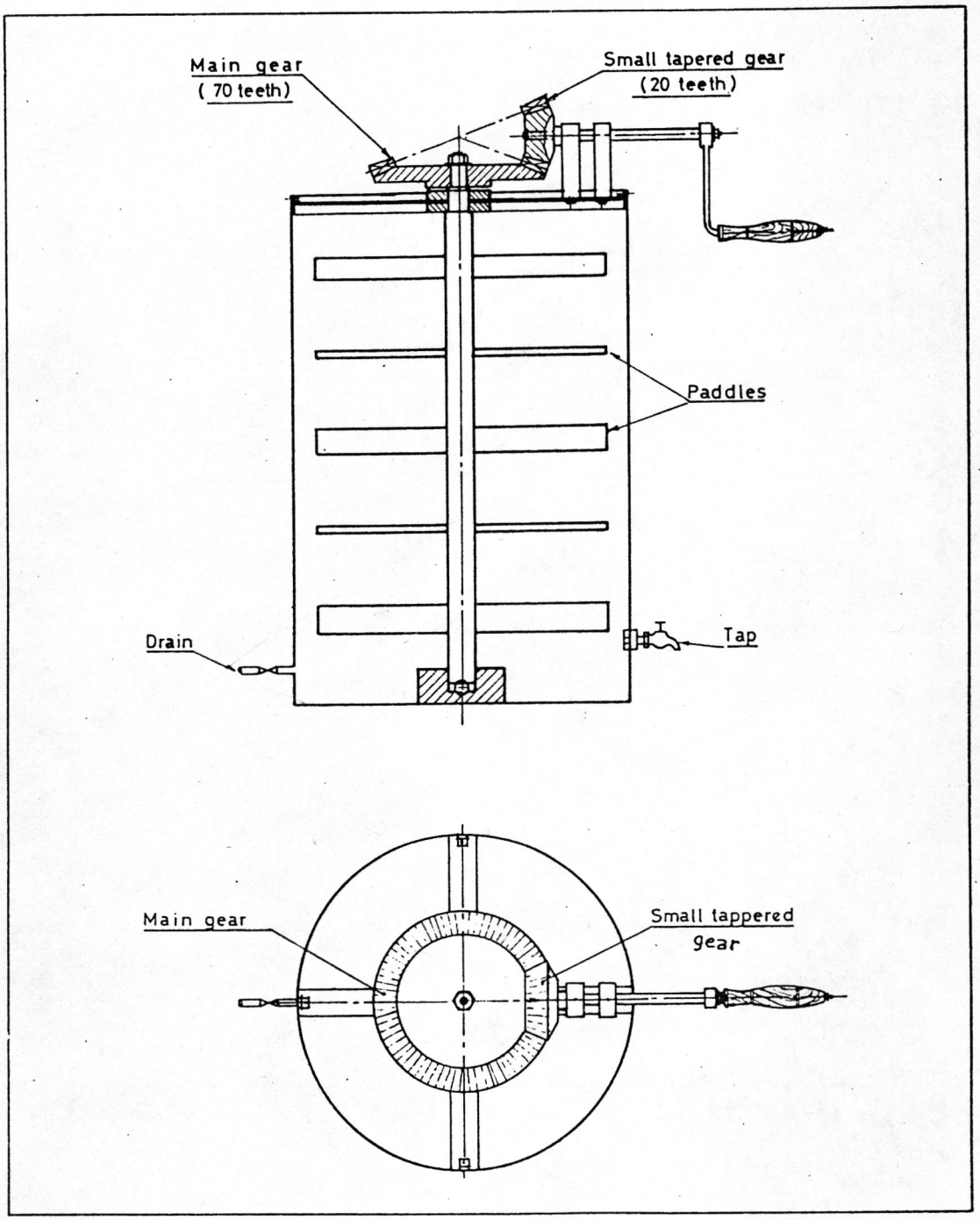
<u>หมายเหตุ</u> ปริมาณเมล็ดมะรุมที่ใช้ ขึ้นอยู่กับความขุ่น และปริมาณน้ำดิบที่นำมาทำการตกตะกอน



รูปที่ 4-14 ขั้นตอนการทำโคแอกกูเลชั่นอย่างง่าย (สภาสังคมสงเคราะห์, 2532)

4.4.2 โคแอกกูเลชั่นในระดับหมู่บ้าน

Jahn(1981) ได้เสนอแนวทางการนำเอาโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติ มาประยุกต์ใช้ในระดับหมู่บ้าน โดยมีการออกแบบอุปกรณ์บำบัดน้ำ และโรงบำบัดน้ำขนาดเล็ก เพื่อสามารถผลิตน้ำให้ได้ในปริมาณที่มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4-15, 4-16 และ 4-17 ดังนี้คือ



รูปที่ 4-15 ถังกวนสมานตะกอนอย่างง่าย แบบใช้มือหมุน (Jahn, 1981)

4.4.2.1 ถังกวนสมานตะกอนอย่างง่าย

รูปที่ 4-15 แสดงถึงถังกวนเพื่อสร้างฟล็อคกูเลชั่นอย่างง่าย โดยใช้มือหมุน ออกแบบโดย Bulusu และคณะ (1979) ปัจจุบันใช้กันแพร่หลายในชนบทของประเทศอินเดีย ซึ่งภายหลัง Jahn ได้นำไปเผยแพร่ในซูดาน และอีกหลาย ๆ ประเทศในอัฟริกา ผู้ศึกษาเห็นว่าน่าจะนำมาใช้ในประเทศไทยได้ โดยดัดแปลงบางประการและเลือกใช้วัสดุที่พอจะหาได้ในท้องถิ่น เช่น โอ่งซิเมนต์ ถังน้ำพลาสติก หรือถังน้ำมันเปล่าที่ไม่ใช้แล้ว ซึ่งชนิดหลังนี้หากนำมาใช้ควรทำความสะอาดให้ดีเสียก่อน และองค์การอนามัยโลกได้แนะนำให้ฉาบผิวด้านในด้วย epoxy resin เพื่อกันน้ำซึม สำหรับบ้านเราอาจดัดแปลงใช้ "ชัน" ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดี และปกติใช้ฉาบผิวภาชนะใส่น้ำที่ทำด้วยหวาย ซึ่งทางภาคเหนือเรียกกันว่า "น้ำทุ่ง" ส่วนโคแอกกูแลนต์ที่จะเลือกมาใช้ก็ควรพิจารณาเลือกชนิดที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น จากผลการศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษาขอแนะนำเพียง 2 ชนิดที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างดี คือ ถั่วลิสง และกระเจี๊ยบแดง เท่านั้น

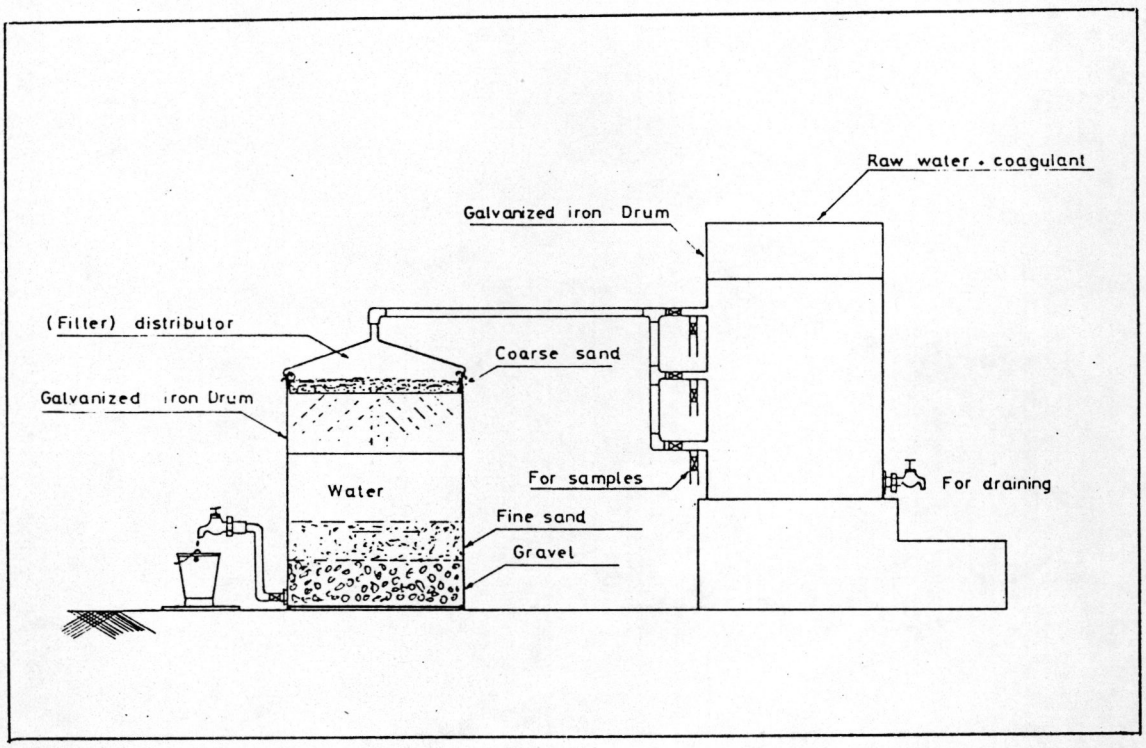
4.4.2.2 โคแอกกูเลชั่นตามด้วยการกรอง

Jahn(1981) ได้นำถังสมานตะกอนที่ Bulusu และคณะได้ออกแบบไว้มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการกรองผ่านทรายกรอง เพื่อให้ได้น้ำที่มีความใสสะอาดยิ่งขึ้น ดังในรูปที่ 4-16 จากรูปอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้

วัสดุที่ใช้

- ถังน้ำทำด้วยเหล็กอาบสังกะสี จำนวน 2 ใบ
- ข้อต่อ วาล์ว และท่อเหล็ก
- แผ่นจานเจาะรู สำหรับกระจายน้ำ
- ทรายกรอง (ขนาดสัมฤทธิ์ 0.4 - 0.5 มม. และ 0.2 - 0.3 มม.)

ประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดเข้าด้วยกันดังรูป



UNIT FOR COAGULATION AND TWO FOLD FILTRATION

รูปที่ 4-16 รูปแบบกระบวนการโคแอกกูเลชั่น ตามด้วยการกรองเพื่อใช้ในระดับหมู่บ้าน (Jahn, 1981)

ขั้นตอนการทำงาน

นำน้ำดิบที่ต้องการทำให้ตกตะกอน มากวนผสมกับโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติที่เตรียมไว้ ในปริมาณที่เหมาะสม (ซึ่งอาจหาได้จากการทำจาร์เทสต์อย่างง่ายโดยใช้มือกวนและเปรียบเทียบความใสด้วยตาเปล่า) ในถังสมานตะกอน หลังจากทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง แล้วจึงปล่อยส่วนน้ำใสผ่านถังกรองทรายดังในรูป น้ำที่ได้จะมีความใสมาก และสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำได้บ้างเป็นบางส่วน

การดูแลรักษา

หลังจากที่ชั้นทรายเกิดการอุดตันแล้ว ให้ตักทรายในชั้นทรายหยาบทิ้งไปหรือนำออกไปล้างทำความสะอาดแล้วนำกลับมาบรรจุใหม่ ส่วนชั้นทรายละเอียดให้ขูดผิวทรายด้านหน้า หนาประมาณ1 ซม. ออกทิ้งหรือนำไปล้างและนำกลับมาใช้งานใหม่

ข้อแนะนำ

หากต้องการนำน้ำไปบริโภค ควรผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรคก่อน

4.4.2.3 โคแอกกูเลชั่น ตามด้วยการเก็บกักในภาชนะที่ปิดสนิท

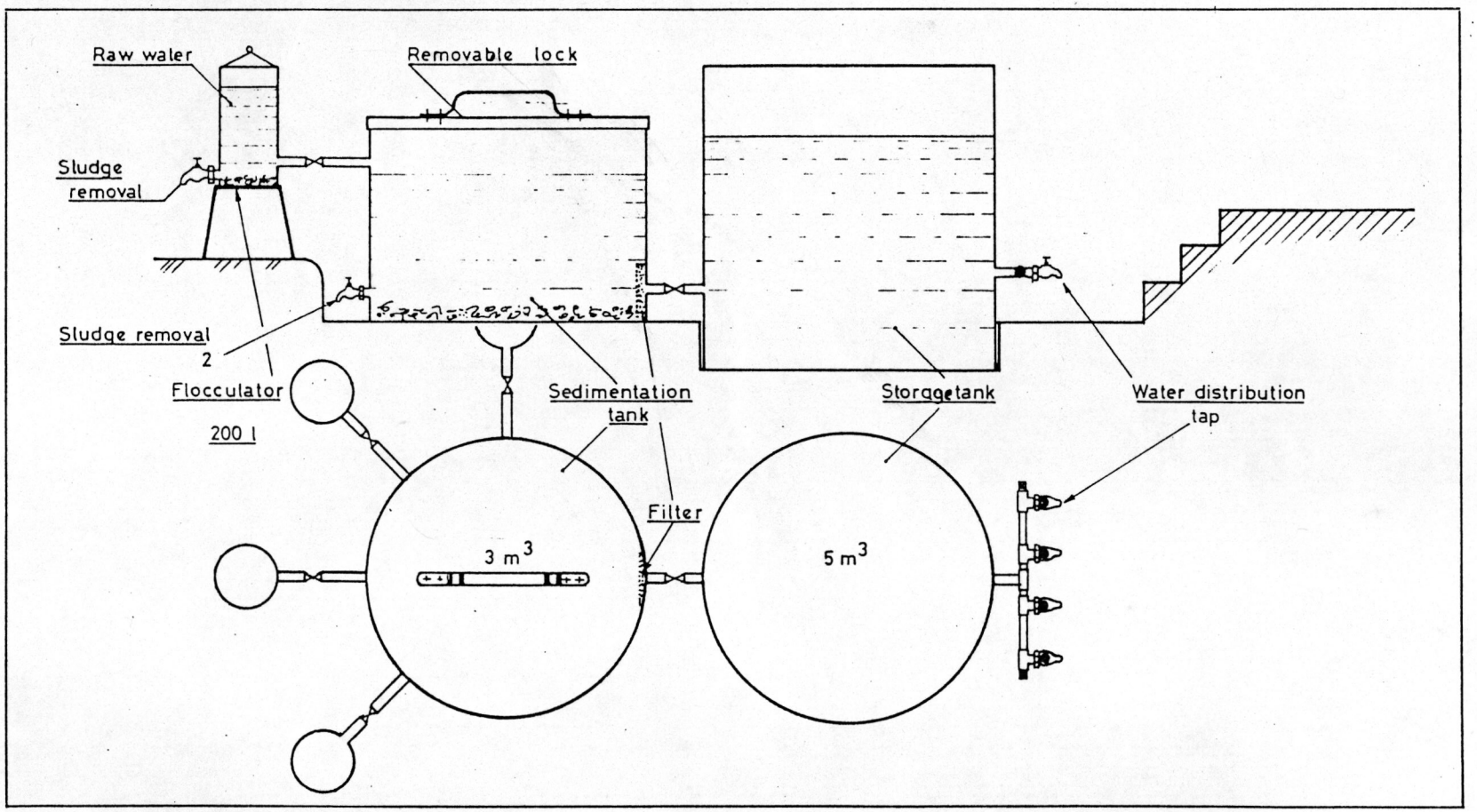
Jahn(1981) ออกแบบระบบนี้ไว้โดยอาศัยหลักการที่ว่าการเก็บกักน้ำไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท เป็นเวลานานพอสมควร ช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำได้ ดังในรูปที่ 4-17

ส่วนประกอบโครงสร้าง

- ถังสมานตะกอนขนาดความจุ 200 ลิตร จำนวน 4 ถัง
- ถังตกตะกอน ขนาดความจุ 3 ลูกบาศก์เมตร
- ถังน้ำใส ขนาดความจุ 5 ลูกบาศก์เมตร
- ข้อต่อและวาล์ว
- ท่อน้ำสำหรับจ่ายน้ำ และระบายตะกอน

ประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดเข้าด้วยกันดังรูป

VILLAGE PLANT FOR TRADITIONAL WATER COAGULATION



รูปที่ 4-17 รูปแบบกระบวนการโคแอกกูเลชั่นตามด้วยการเก็บกักในภาชนะที่ปิดสนิท ในระดับหมู่บ้าน

ขั้นตอนการทำงาน

- นำน้ำดิบที่ต้องการตกตะกอนมากวนผสมกับโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติที่เตรียมไว้ในปริมาณที่เหมาะสม ในถังสมานตะกอนทั้ง 4 ใบ เป็นเวลาประมาณ 10-15 นาที แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้ตกตะกอนอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

- ถ่ายเทส่วนน้ำใส เข้าถังตกตะกอน และระบายตะกอนออกจากถังกวนสมานตะกอน

- เติมน้ำดิบและโคแอกกูแลนต์ลงในถังกวนสมานตะกอนใหม่ แล้วทำการกวนผสม เช่น ตอนแรก ทำซ้ำเช่นเดิมวันละ 4 รอบ และถ่ายเทส่วนน้ำใสเข้าถังตกตะกอนเรื่อย ๆ จนครบ 4 ครั้ง แล้วปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 7 ชั่วโมง จึงถ่ายเทส่วนนำใสเข้าถังน้ำใส

- ระบายตะกอนออกจากถังตกตะกอน และปล่อยให้น้ำใสเก็บกักอยู่ในถังน้ำใส เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง จึงจะนำน้ำใสที่ได้ไปใช้ในการอุปโภค บริโภคต่อไป

<u>หมายเหตุ</u> ในระหว่างการดำเนินกรรมวิธีดังกล่าว ถังทุกถังต้องอยู่ในสภาพที่ปิดสนิท โดยปกติจะเริ่มปฏิบัติการในตอนเช้า และสิ้นสุดที่ถังน้ำใสในตอนเย็น เพื่อที่จะนำน้ำที่ได้ไปใช้งานในวันถัดไป

ตามความเห็นของผู้ศึกษาคิดว่า ระบบบำบัดน้ำอย่างง่ายโดยใช้โคแอกกูแลนต์ธรรมชาตินี้ มีความเหมาะสมหากจะนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำสะอาดเพื่อชุมชนในภูมิภาค ซึ่งประชาชนมักมีรายได้และมาตรฐานการครองชีพต่ำ ขาดแคลนเทคโนโลยี่ โดยเฉพาะในชนบทที่อยู่ห่างไกลความเจริญ ประปาและไฟฟ้าเข้าไม่ถึง ทั้งนี้เพราะระบบบำบัดน้ำอย่างง่าย โดยใช้โคแอกกูแลนต์ธรรมชาตินี้จะมีความประหยัดอย่างมากในเรื่อง การใช้ที่ดิน ค่าก่อสร้าง ค่าควบคุมงานและโดยเฉพาะค่าสารเคมีและค่าพลังงานที่จะต้องใช้ เมื่อเทียบกับระบบผลิตน้ำประปาแบบทั่วไป ดังนั้นผู้ศึกษาจึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลการศึกษาครั้งนี้น่าจะเป็นแนวทางสำหรับการนำเอาวัสดุธรรมชาติมาใช้ให้เป็นประโยชน์ เพื่อให้ประชาชนในภูมิภาคได้มีโอกาสใช้น้ำที่มีคุณภาพ มีความใสสะอาดกว่าการใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง อันจะเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาภูมิภาคของไทยต่อไป