บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

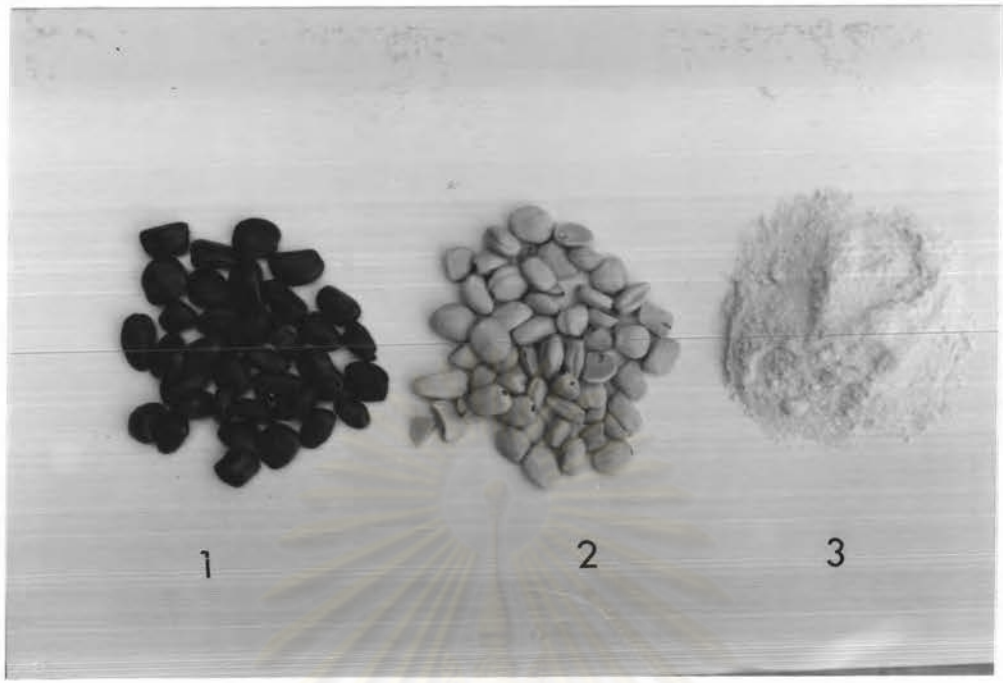
5.1 การเตรียมโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะขาม

5.1.1 การเตรียมผงแป้งเมล็ดมะขาม

การเตรียมผงแป้งเมล็ดมะขามจะทำโดยการแยกเอาเปลือกเมล็ดออกก่อน เนื่องจากเปลือกเมล็ดมะขามมีสีน้ำตาลแดงเข้มและประกอบด้วยสารเคมีที่ทำให้เกิดรสฝาด จากนั้นจึงนำเอาเฉพาะเนื้อเมล็ดไปบดให้เป็นผงละเอียดก็จะได้ผงแป้งเมล็ดมะขามที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 5.1

การเตรียมผงแป้งเมล็ดมะขามจะทำการทดลอง 2 วิธี ซึ่งแตกต่างกันกันที่วิธีการในการลอกเปลือกเมล็ด วิธีแรกจะนำเมล็ดดิบมาทำการแยกเปลือกเมล็ดออกเลย โดยวิธีแรกนี้การแยกเปลือกเมล็ดจะทำได้ยากและไม่สามารถแยกเปลือกเมล็ดได้หมดเกลี้ยงนัก เนื่องจากเมล็ดมะขามจะมีเปลือกที่หนาเหนียวและแข็งเกาะติดแน่นกับเนื้อเมล็ด ประกอบกับในการทดลองไม่มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการเตรียมด้วย ทำให้ผงแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีนี้จะมีสีอมชมพูเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากเปลือกเมล็ดที่ไม่สามารถแยกออกได้หมดนั่นเอง ผงแป้งเมล็ดมะขามที่เตรียมได้จากวิธีที่ 1 จะเรียกว่าผงแป้งเมล็ดดิบ ส่วนวิธีที่สองจะนำเอาเมล็ดมะขามไปอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ด้วยวิธีหลังนี้จะทำให้เปลือกเมล็ดกรอบและร่อนทำให้สามารถแยกเปลือกเมล็ดออกได้ง่ายและสามารถแยกเปลือกเมล็ดได้หมด ผงแป้งเมล็ดมะขามที่เตรียมได้จากวิธีนี้จะมีสีขาวครีมซึ่งเป็นสีโดยธรรมชาติของเนื้อเมล็ด ผงแป้งที่เตรียมโดยวิธีที่ 2 จะเรียกว่าผงแป้งเมล็ดอบ สีของผงแป้งเมล็ดมะขามทั้งสองแบบแสดงในรูปที่ 5.2 จากการทดลองแยกเปลือกและเนื้อเมล็ดพบว่า เมล็ดมะขามที่ในการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วยเนื้อเมล็ดและเปลือกเมล็ดคิดเป็นร้อยละ 65 และ 35 ตามลำดับ

ผงแป้งเมล็ดมะขามที่เตรียมได้จะมีการเติมโซเดียมไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.5 ตามมาตรฐานของอินเดีย(24) ซึ่งระบุไว้ว่าหากผงแป้งเมล็ดมะขามไม่ได้ถูกนำไปใช้ในทันที จะต้องเก็บผงแป้งไว้ในที่แห้งและพ่นด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทุกๆสามเดือน หรือเติมโซเดียมไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.5 และเก็บไว้ในภาชนะที่กันความชื้นได้ เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพของผงแป้งเนื่องจากการย่อยสลายโดยเอนไซม์ โซเดียมไบซัลไฟต์นอกจากมีคุณสมบัติในการรักษาคุณภาพของผงแป้งแล้วยังสามารถป้องกันแมลงได้ด้วย



รูปที่ 5.1 การเตรียมผงแป้งเมล็ดมะขาม 1) มะขามทั้งเมล็ด 2) เนื้อเมล็ดมะขาม 3) ผงแป้งเมล็ดมะขาม

รูปที่ 5.2 ผงแป้งเมล็ดมะขามที่เตรียมได้จากวิธีทั้งสอง 1) ผงแป้งเมล็ดดิบ 2) ผงแป้งเมล็ดอบ

5.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของผงแป้งเมล็ดมะขาม

เมื่อนำผงแป้งเมล็ดมะขามที่เตรียมได้จากวิธีการทั้งสอง ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, คาร์โบไฮเดรท, เถ้า และเส้นใย ที่ระยะเวลาการเก็บ 0, 30 และ 60 วัน ได้ผลการวิเคราะห์เป็นดังตารางที่ 5.1 พบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ของผงแป้งเมล็ดมะขาม คือ คาร์โบไฮเดรท, โปรตีน และไขมัน ซึ่งมีอยู่ร้อยละ 67.2-68.5, 14.0-16.5 และ 4.8-6.7 ตามลำดับ สัดส่วนขององค์ประกอบของผงแป้งเห็นได้ชัดเจนขึ้นจากรูปที่ 5.3

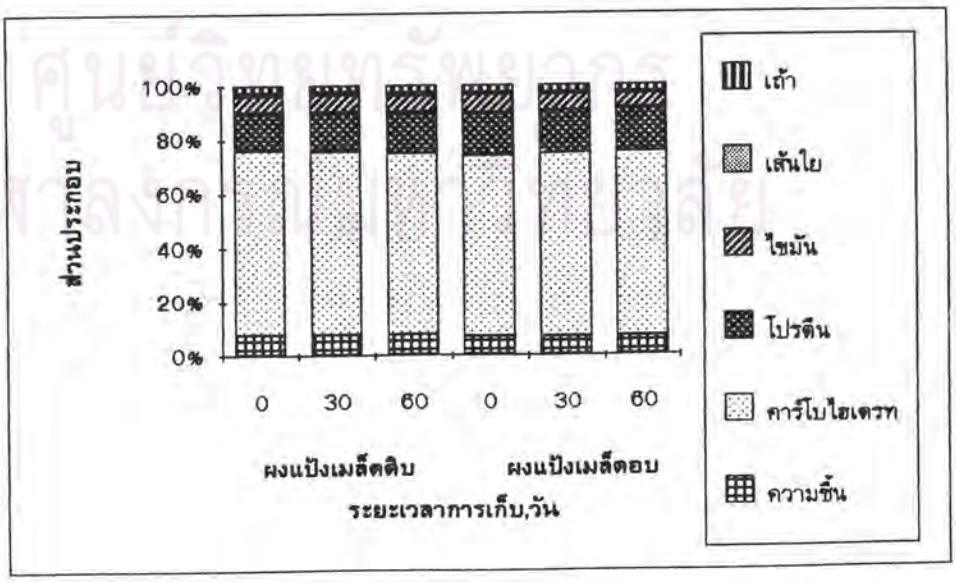
จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบผงแป้งเมล็ดมะขามที่เตรียมได้จากวิธีทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าการอบเมล็ดมะขามในช่วงเวลาที่เหมาะสมจะไม่เกิดการทำลายองค์ประกอบต่างๆ ของผงแป้ง ดังนั้นในการลอกเปลือกเมล็ดมะขามหากไม่มีเครื่องมือที่ได้รับการออกแบบที่เหมาะสมแล้ว ควรใช้วิธีการอบเมล็ดมะขามก่อนเพื่อให้เปลือกเมล็ดร่อนและสามารถลอกออกได้ง่าย แต่มีข้อควรระวังสำหรับการใช้วิธีการอบ คือ จะต้องไม่อบนานเกินไปจนกระทั่งทำให้องค์ประกอบในเนื้อเมล็ดไหม้เกรียม การอบเมล็ดมะขามทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 15-30 นาทีขึ้นอยู่กับความหนาบางของเปลือกเมล็ด ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของการอบเมล็ดมะขามคือจะให้ผงแป้งที่มีความชื้นน้อยกว่าผงแป้งเมล็ดดิบ ซึ่งน่าจะทำให้ผงแป้งเมล็ดอบสามารถเก็บรักษาได้ดีกว่า

การวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบต่างๆในผงแป้งเมล็ดมะขามจะใช้ตามวิธีของ AOAC(22) ซึ่งวิธีในการวิเคราะห์หาคาร์โบไฮเดรทจะได้จากการนำผลรวมขององค์ประกอบอื่นๆได้แก่ ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, เถ้า และเส้นใย มาหักออกจากร้อย จึงทำให้ค่าคาร์โบไฮเดรทที่ได้ไม่ใช่ค่าที่เกิดจากการวิเคราะห์หาโดยตรงเป็นเพียงการคาดการเอาว่าองค์ประกอบที่เหลือจะเป็นคาร์โบไฮเดรท ดังนั้นในคาร์โบไฮเดรทที่วิเคราะห์ได้นี้อาจจะมีองค์ประกอบอื่นๆรวมอยู่ด้วย อย่างไรก็ตามองค์ประกอบส่วนใหญ่ของคาร์โบไฮเดรทที่วัดได้นี้ก็ยังคงเป็นแป้งและน้ำตาล เมื่อดูผลการวิเคราะห์ของผงแป้งเมล็ดมะขามที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ จะเห็นว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่แทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก องค์ประกอบที่มีการเปลี่ยนแปลงเห็นค่อนข้างชัดเจนคือไขมันซึ่งมีค่าลดลง การเปลี่ยนแปลงนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีอยู่มากในผงแป้งเมล็ดมะขามเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นจึงเกิดการเปลี่ยนรูปของกรดไขมันและทำให้ค่าที่วิเคราะห์ได้เปลี่ยนแปลงไป ส่วนองค์ประกอบอื่นๆจะเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ เป็นที่น่าสังเกตว่าการลดลงของไขมันทำให้ค่าคาร์โบไฮเดรทดูเหมือนจะเพิ่มขึ้นซึ่งไม่น่าจะเป็นจริง ดังนั้นค่าคาร์โบไฮเดรทที่วัดได้จะต้องดูค่าอื่นๆประกอบด้วยเพราะการลดหรือเพิ่มขององค์ประกอบอื่นๆจะส่งผลกับการเปลี่ยนแปลงค่าคาร์โบไฮเดรทได้

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงแป้งเมล็ดมะขาม*

องค์ประกอบ	ค่าที่วิเคราะห์ได้, %					
	ผงแป้งเมล็ดดิบ			ผงแป้งเมล็ดอบ		
	อายุการเก็บ, วัน			อายุการเก็บ, วัน		
	0	30	60	0	30	60
ความชื้น	7.67	7.71	7.70	6.92	6.99	7.02
คาร์โบไฮเดรท	68.53	68.09	67.28	67.28	67.70	68.05
โปรตีน	14.05	14.59	15.26	15.68	16.00	16.54
ไขมัน	6.05	6.11	5.92	6.67	5.86	4.84
เส้นใย	1.25	1.15	1.15	0.90	0.85	0.85
เถ้า	2.45	2.35	2.70	2.55	2.60	2.70
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

* วิเคราะห์โดย กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร



รูปที่ 5.3 องค์ประกอบทางเคมีของผงแป้งเมล็ดมะขามที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ

องค์ประกอบของผงแป้งเมล็ดมะขามที่มีประโยชน์ในการใช้เป็นโพลีอิเลคโทรไลต์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรทและโปรตีน คาร์โบไฮเดรทในเมล็ดมะขามจะประกอบด้วยแป้งและโพลีแซคคาไรด์ โพลีแซคคาไรด์ในเมล็ดมะขามหรือมีอีกชื่อหนึ่งว่าเจลโลส(jellose) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในผงแป้งเมล็ดมะขามมีอยู่ประมาณร้อยละ 45-60 (18,19,24) ประกอบด้วย D-glucose, D-xylose และ D-galactose ในอัตราส่วน 3:2:1 ตามลำดับ น้ำหนักโมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์เมื่อวิเคราะห์โดย copper number มีค่าเท่ากับ 55,600 โพลีแซคคาไรด์ที่มีอยู่ในเมล็ดมะขามเมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายที่มีคุณสมบัติเหนียวหนืด(mucilaginous) และเป็นเจลภายใต้สภาวะพีเอชที่เป็นกรดและเป็นกลางได้ดี ซึ่งต่างจากเปคติน(pectin)ในผลไม้อื่นที่จะเป็นเจลเฉพาะในสภาวะที่เป็นกรดเท่านั้น(18) โปรตีนในเมล็ดมะขามประกอบด้วย prolamins, albumins และ glutelin ส่วนไขมันที่มีอยู่ในเมล็ดมะขามนั้นจะมีผลทำให้ผงแป้งไม่สามารถการเก็บรักษาได้นาน เพราะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในปริมาณสูง กรดไขมันดังกล่าวจะทำให้เกิดกลิ่นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น นอกจากนั้นยังทำให้การบดเนื้อเมล็ดทำได้ยากและผงแป้งที่ได้มีลักษณะที่จับตัวเป็นก้อนด้วย

จากผลการศึกษาที่ผ่านมา(18,20) ไม่ได้มีการบ่งชี้ว่ามีการพบสารพิษในเนื้อเมล็ดมะขามแต่อย่างใด แต่กลับพบว่ามีผลในการรักษาโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหารเช่น บิด, ท้องร่วงได้ นอกจากนั้นเนื้อเมล็ดมะขามสามารถคั่วหรือต้มรับประทานได้ ผงแป้งเมล็ดมะขามเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สามารถใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆได้ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร, ยา, สิ่งทอ, สิ่งพิมพ์ เป็นต้น

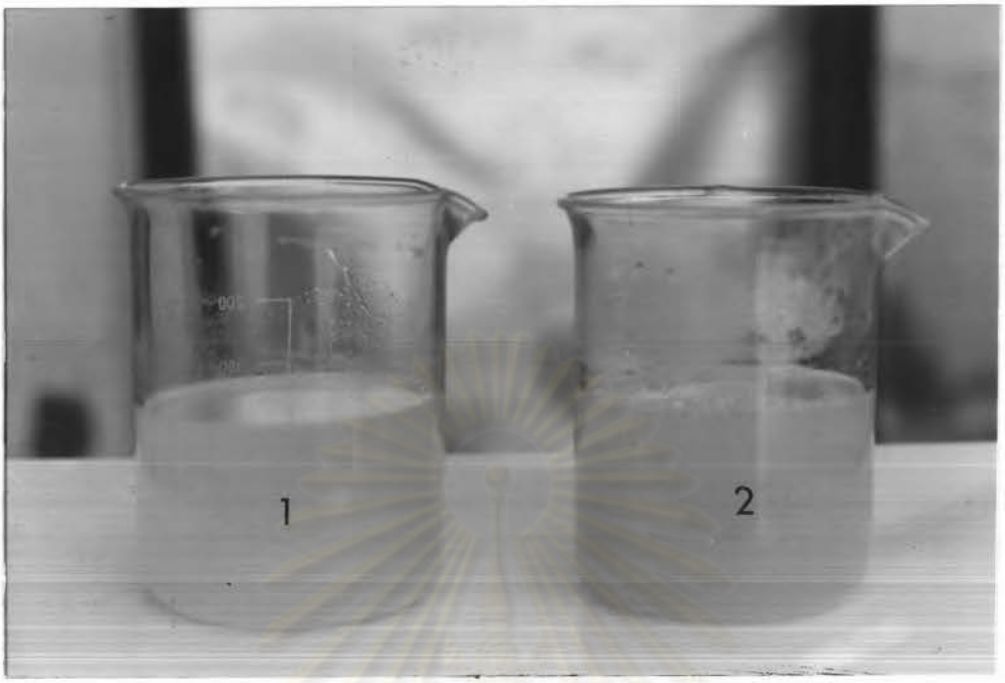
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.3 การเตรียมสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขาม

เนื่องจากผงแป้งเมล็ดมะขามแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ตามความสามารถในการละลายและการเป็นเจลคือ ส่วนที่ 1 เป็น polyuronide ซึ่งเป็นสารโปรตีน มีอยู่ประมาณร้อยละ 2-4 สามารถละลายได้แม้ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 2-3 นาที ส่วนที่ 2 เป็นโพลีแซคคาไรด์มีอยู่ร้อยละ 20-30 สามารถละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิห้องเมื่อผสมกับน้ำ 10 เท่า และกวนเป็นเวลา 45 นาที ส่วนที่ 3 เป็นโพลีแซคคาไรด์ซึ่งไม่ละลายในน้ำเย็น แต่สามารถละลายได้ในน้ำเดือดภายใน 20 นาที มีอยู่ประมาณร้อยละ 30-35 ส่วนที่เหลือยังไม่มีการศึกษาว่าเป็นสารพวกใด ผงแป้งในส่วนที่ 1 ไม่มีคุณสมบัติในการเป็นเจล แต่ส่วนที่ 2 และ 3 จะมีคุณสมบัติในการเป็นเจลที่ดีมาก การที่ส่วนที่ 3 ซึ่งมีปริมาณที่มากที่สุดนั้นไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิปกติ จึงต้องมีวิธีการเพื่อช่วยในการละลายซึ่งเป็นที่มาของกระบวนการเตรียมสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขาม

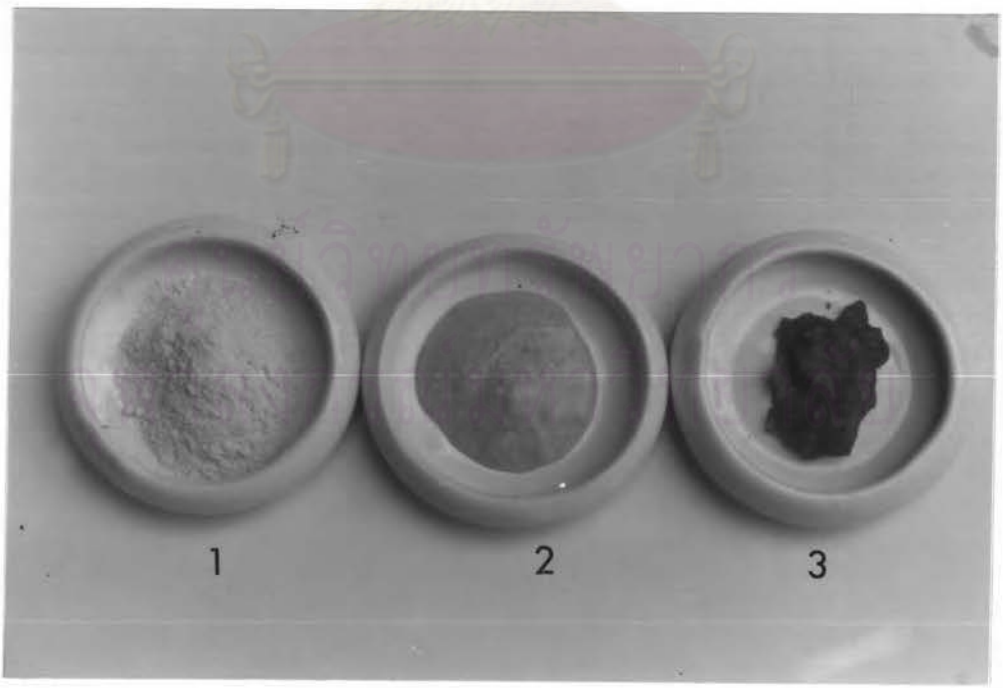
การเตรียมผงแป้งเมล็ดมะขามให้เป็นสารละลายในการทดลองจะทำสองวิธี คือ วิธีที่ 1 จะทำตามวิธีการของ NEERI(12)และวิธีที่ 2 จะประยุกต์จากวิธีการเตรียมของBulusu(16) ในการเตรียมสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามโดยวิธีที่ 1 นั้น ทำได้โดยให้ความร้อนแก่สารละลายเพื่อให้ผงแป้งทั้งหมดสามารถละลายได้ ส่วนวิธีที่ 2 นั้นจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยในการละลายของผงแป้งส่วนที่ 3 ทำให้ผงแป้งสามารถละลายได้หมดเช่นเดียวกัน เนื่องจาก Savur(25) พบว่าโพลีแซคคาไรด์ในส่วนที่ 3 นั้นสามารถสกัดได้โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางที่อุณหภูมิห้อง ขั้นตอนในการเตรียมสารละลายเป็นดังรูปที่ 5.4 และ 5.5

จากวิธีการเตรียมทั้งสองสามารถละลายผงแป้งเมล็ดมะขามได้หมดเหมือนกัน ดังนั้นในการเตรียมเพื่อการนำไปใช้นั้นจะต้องพิจารณาตามความเหมาะสม วิธีที่ 1 จะมีข้อยุ่งยากเนื่องจากต้องใช้ความร้อนเพื่อช่วยในการละลายของผงแป้ง และในขณะที่ให้ความร้อนต้องมีการกวนอยู่ตลอดเวลาเพื่อไม่ให้สารละลายเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน ส่วนวิธีที่ 2 มีข้อได้เปรียบกว่าคือไม่ต้องใช้ความร้อนเพียงแต่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยในการละลายของผงแป้งในส่วนที่ 3 ซึ่งน่าจะสะดวกในการนำไปใช้งานจริงมากกว่า



รูปที่ 5.4 การเตรียมสารละลายตามวิธีที่ 1

1) ก่อนให้ความร้อน 2) หลังการให้ความร้อน



รูปที่ 5.5 การเตรียมผงแป้งให้เป็นสารละลายตามวิธีที่ 2

1) ผงแป้งเมล็ดมะขาม 2) ผสมน้ำเป็นตะกอนข้น

3) หลังเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้เป็นก้อนแป้ง

5.2 ประจุไฟฟ้าของสารละลายโคแอกกูแลนต์

ในการทดลองจะทำการวัดประจุของสารละลายสารส้ม, สารละลายโพลีอิเลคโทรไลต์ประจุลบ และสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามที่ค่าความเข้มข้นและพีเอชต่างๆตามความเหมาะสม โดยวิธีการไตเตรทคอลลอยด์แบบย้อนกลับ

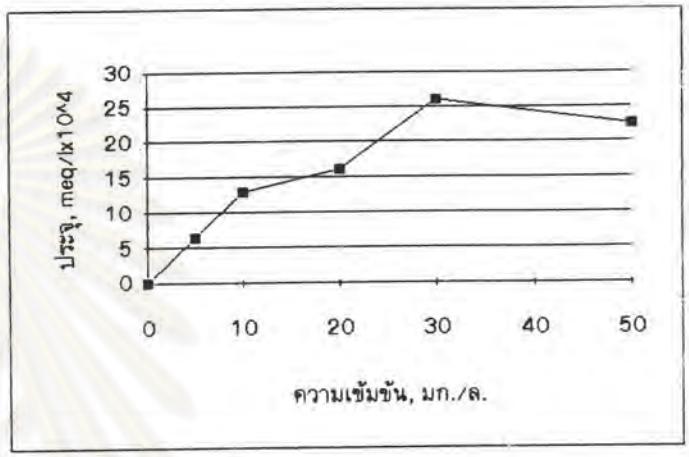
การวัดประจุของสารส้มที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.2 และ รูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าประจุของสารส้มที่ความเข้มข้น 5, 10, 20 และ 30 มก./ล. จะมีค่าสูงเพิ่มขึ้นตามลำดับทั้งๆที่ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่พีเอช 7 ของความเข้มข้นทั้งสี่ค่านี้ สามารถเกิดสารประกอบสารส้มที่มีประจุได้เท่าๆกัน เพราะค่าความเข้มข้นทั้งสี่ต่างก็สูงกว่าค่าอิ่มตัว (K_{sp}) ของ $Al(OH)_3$ ดูจากรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่า การวัดประจุของสารละลายสารส้มโดยการไตเตรทคอลลอยด์นั้นเป็นการวัดความสามารถของสารส้มในการลดประจุลบของสารสะลายพีวีเอสเอเคที่ใช้ในการไตเตรทเท่านั้น ไม่ได้เป็นการวัดประจุบวกที่แท้จริง เนื่องจาก $Al(OH)_3$ ซึ่งไม่มีประจุคงสามารถลดอิทธิพลของประจุลบลงโดยอาศัยกลไกการห่อหุ้มอนุภาคได้ด้วย และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็น 50 มก./ล. ค่าประจุที่วัดได้มีค่าลดลง สาเหตุน่าจะเนื่องมาจากการที่มี $Al(OH)_3$ เกิดขึ้นในปริมาณมาก จนทำให้เกิดรวมตัวกันเองเป็นฟล็อก ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่า $Al(OH)_3$ ที่รวมตัวกันเป็นฟล็อกแล้วนั้นไม่สามารถลดเสถียรภาพของของอนุภาคประจุลบได้อีก(23) จึงทำให้ความสามารถของสารส้มในการลดประจุลบของสารละลายพีวีเอสเอเคมีค่าลดลง

ผลการเปลี่ยนแปลงประจุของสารส้มที่ค่าพีเอชต่างๆ ในตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่า ที่พีเอชต่ำประจุจะมีค่าเป็นบวก และค่าประจุจะลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มสูงขึ้นจนพีเอชมีค่าประมาณ 9 ประจุก็จะเปลี่ยนจากบวกเป็นลบ ซึ่งสอดคล้องกับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารส้มกล่าวคือ ที่พีเอชต่ำไอออนบวกของสารส้มจะจ่ายโปรตอนให้กับน้ำได้น้อย ส่วนใหญ่จึงยังคงอยู่ในรูปของที่มีประจุบวกอยู่ เมื่อพีเอชสูงขึ้นไอออนบวกของสารส้มและไอออนคอมเพล็กซ์ที่มีประจุบวกจะสามารถจ่ายโปรตอนให้กับน้ำได้มากขึ้น จึงเปลี่ยนเป็นไอออนคอมเพล็กซ์ที่มีประจุบวกลดน้อยลงจนกระทั่งกลายเป็น $Al(OH)_3$ ซึ่งไม่มีประจุ และ $Al(OH)_4^-$ ซึ่งมีประจุลบในที่สุด

การวัดประจุโพลีอิเลคโทรไลต์ประจุลบจะใช้ Floerger AN 923 ซึ่งเป็นโพลีอะครีลาไมด์ประจุลบ (anionic polyacrylamide) ได้ผลการทดลองแสดงดังในตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.8 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของโพลีอิเลคโทรไลต์ประจุลบเพิ่มมากขึ้นปริมาณประจุลบจะเพิ่มสูงขึ้นด้วยและค่า

ตารางที่ 5.2 ค่าประจุของสารส้มที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ

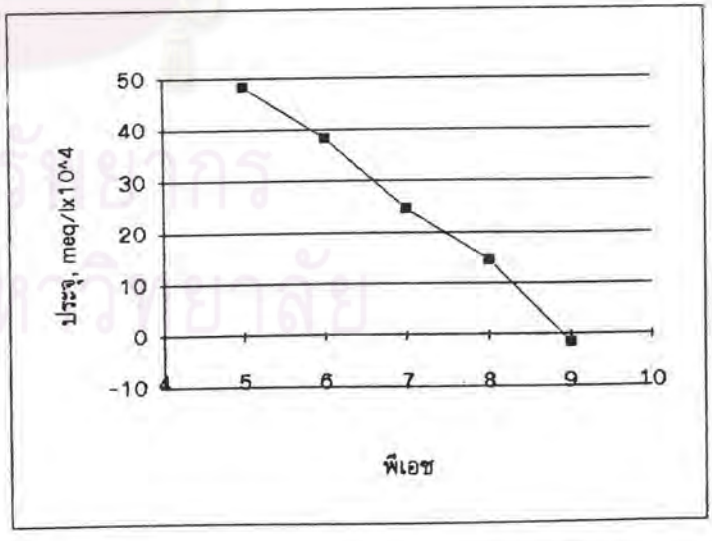
ความเข้มข้น, มก./ล.	พีเอช	ประจุ, meq./l x 10^4
5	7.5	6.43
10	7.5	12.86
20	7.5	16.07
30	7.5	26.07
50	7.5	22.50



รูปที่ 5.6 ประจุของสารส้มที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ

ตารางที่ 5.3 ค่าประจุของสารส้มที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

ความเข้มข้น, มก./ล.	พีเอช	ประจุ, meq./l x 10^4
20	5.0	48.39
20	6.0	38.39
20	7.0	24.64
20	8.0	14.64
20	9.0	-1.61

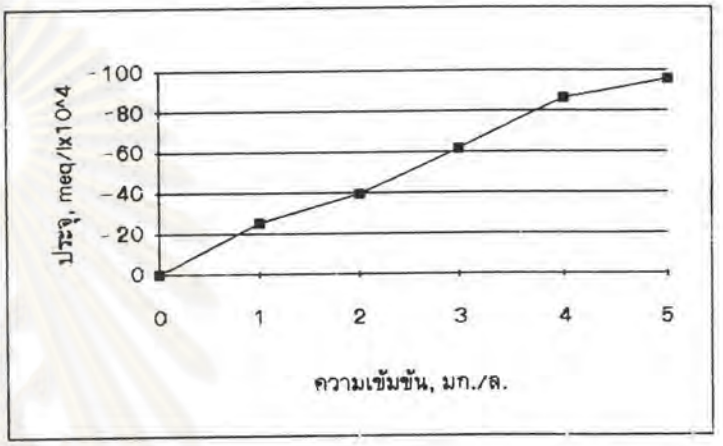


รูปที่ 5.7 ประจุของสารส้ม 20 มก./ล. ที่พีเอชต่าง ๆ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.4 ค่าประจุของโพลีเมอร์ประจุลบที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ

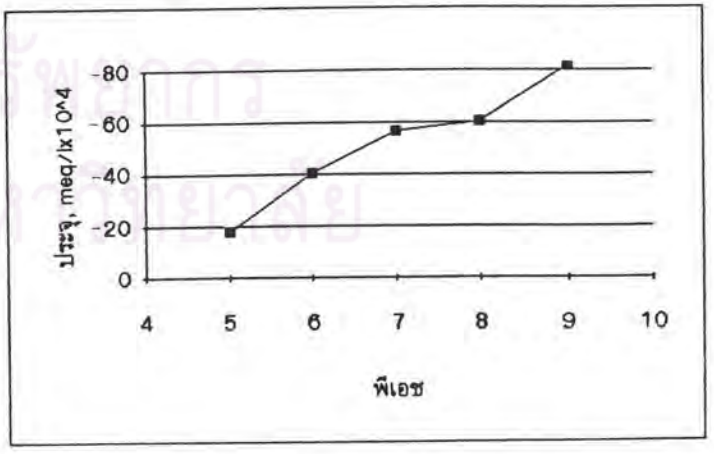
ความเข้มข้น, มก./ล.	พีเอช	ประจุ, meq./l x 10^4
1	8.0	-25.00
2	8.0	-39.64
3	8.0	-61.79
4	8.0	-86.43
5	8.0	-96.07



รูปที่ 5.8 ประจุของโพลีเมอร์ประจุลบที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ

ตารางที่ 5.5 ค่าประจุของโพลีเมอร์ประจุลบที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

ความเข้มข้น, มก./ล.	พีเอช	ประจุ, meq./l x 10^4
3	5.0	-17.86
3	6.0	-40.36
3	7.0	-56.61
3	8.0	-60.36
3	9.0	-81.61



รูปที่ 5.9 ประจุของโพลีเมอร์ประจุลบ 3 มก./ล. ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

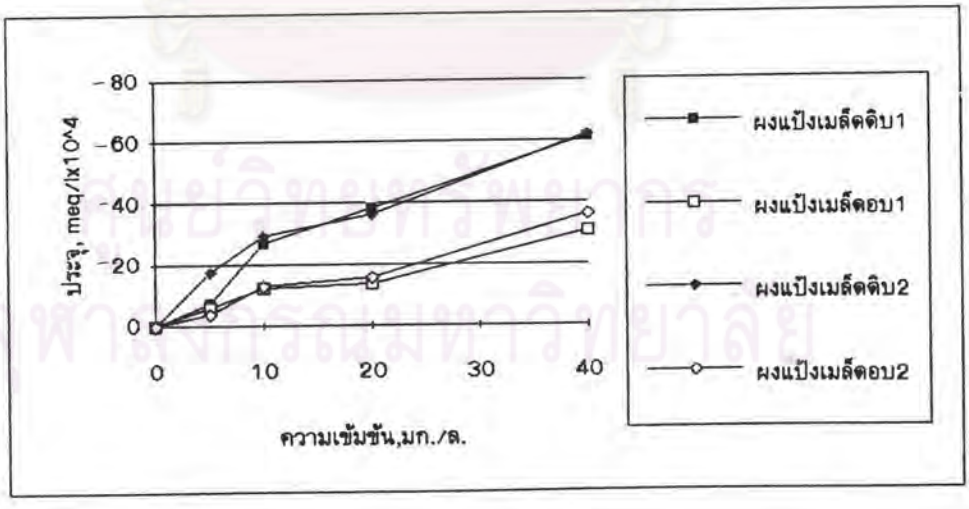
ประจุที่วัดได้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย เนื่องจากที่ความเข้มข้นต่ำกลไกในการทำลายเสถียรภาพที่สำคัญคือกลไกดูดติดผิวและทำลายประจุ ทำให้ปริมาณโพลีอิเลคโทรไลต์ที่ใช้ทำลายประจุจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณเอ็มจีซีที่เติม ค่าประจุที่วัดได้จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลีอิเลคโทรไลต์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Wang(25)

การเปลี่ยนแปลงค่าประจุของโพลีอิเลคโทรไลต์ประจุลบที่ค่าพีเอชต่างๆ มีผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.9 พบว่าพีเอชมีผลต่อปริมาณประจุ กล่าวคือที่พีเอชต่ำจะมีปริมาณประจุลบน้อย ประจุลบจะสูงขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มสูงขึ้น ในกรณีของโพลีอะครีลาไมด์นี้ ประจุลบของโพลีอิเลคโทรไลต์คือกลุ่มอะครีลาไมด์ซึ่งแตกตัวเป็นกรดอะครีลิค(acrylic acid) ในสารละลายที่มีพีเอชต่ำจะมีไฮโดรเจนไอออนอยู่มากซึ่งจะทำให้ความสามารถในการแตกตัวของโพลีอะครีลาไมด์ลดลง จึงทำให้ค่าประจุที่วัดได้มีค่าน้อย เมื่อพีเอชเพิ่มสูงขึ้นปริมาณไฮโดรเจนไอออนลดลงการแตกตัวของโพลีอะครีลาไมด์จะเกิดได้ดีขึ้น ทำให้ค่าประจุที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น

ผลการวัดประจุของสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามทั้ง4 แบบคือ สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 1, สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 1, สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 2 และสารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 2 แสดงในตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.10 พบว่าสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามทั้ง4แบบมีประจุลบ ปริมาณประจุลบจะมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น และพีเอชจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณประจุเช่นเดียวกันกับสารละลายโพลีอิเลคโทรไลต์ประจุลบดังแสดงในตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.11 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าประจุจะแบ่งได้เป็น 2 ชุดคือสารละลายผงแป้งเมล็ดดิบและสารละลายผงแป้งเมล็ดอบ และประจุลบของสารละลายผงแป้งเมล็ดอบจะมีค่าน้อยกว่าผงแป้งเมล็ดดิบ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการเตรียมให้เป็นสารละลายไม่ได้มีผลทำให้ปริมาณโพลีอิเลคโทรไลต์ที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกัน แต่กระบวนการในการเตรียมผงแป้งจากเมล็ดมะขามจะมีผลต่อปริมาณโพลีอิเลคโทรไลต์มากกว่า เมื่อดูจากผลการวิเคราะห์ผงแป้งแล้วค่าองค์ประกอบของผงแป้งจะเท่าๆกัน แต่อาจเป็นไปได้ว่ากระบวนการเตรียมผงแป้งที่ต่างกันทำให้โครงสร้างโมเลกุลเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเมื่อนำผงแป้งมาทำให้เป็นสารละลาย จึงมีผลทำให้ค่าประจุที่วัดได้แตกต่างกันได้ ส่วนค่าการเปลี่ยนแปลงประจุเนื่องจากผลของพีเอชจะคล้ายคลึงกัน คือ เมื่อพีเอชต่ำค่าประจุลบที่วัดได้จะมีค่าน้อย ประจุลบที่วัดได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามกับโพลีอิเลคโทรไลต์ประจุลบ ดังแสดงในรูปที่ 5.12 และ 5.13 จะเห็นว่าค่าประจุของสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบโพลีอิเลคโทรไลต์ประจุลบและผลของพีเอชต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณประจุก็มีค่าน้อยกว่าเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 5.6 ค่าประจุของสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ

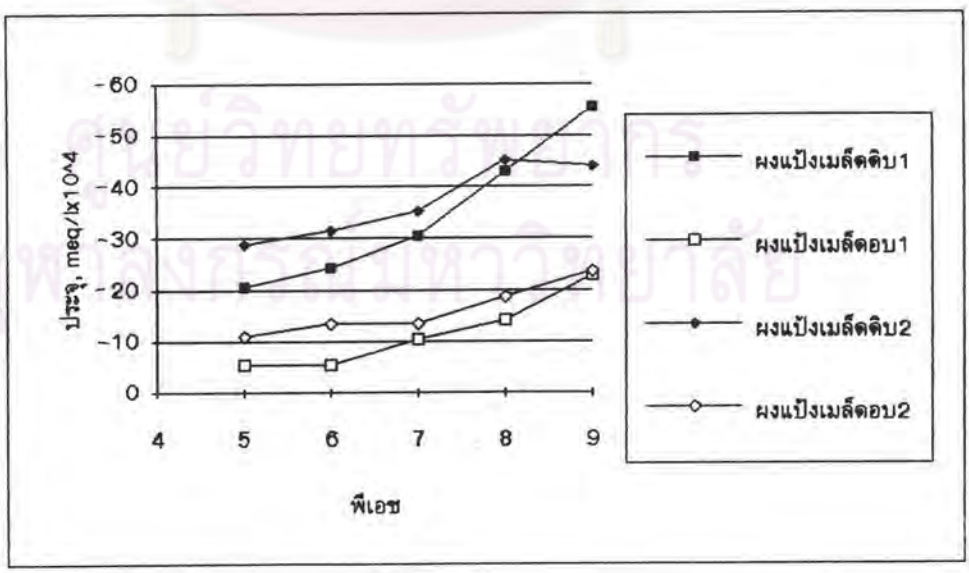
ความเข้มข้น, มก./ล.	พีเอช	ประจุ, meq/lx10^4			
		เมล็ดดิบ1	เมล็ดอบ1	เมล็ดดิบ2	เมล็ดอบ2
5	7.0	-7.14	-5.71	-17.5	-3.93
10	7.0	-26.79	-12.14	-29.29	-12.86
20	7.0	-38.21	-13.57	-36.43	-15.71
40	7.0	-61.43	-30.71	-62.14	-36.43



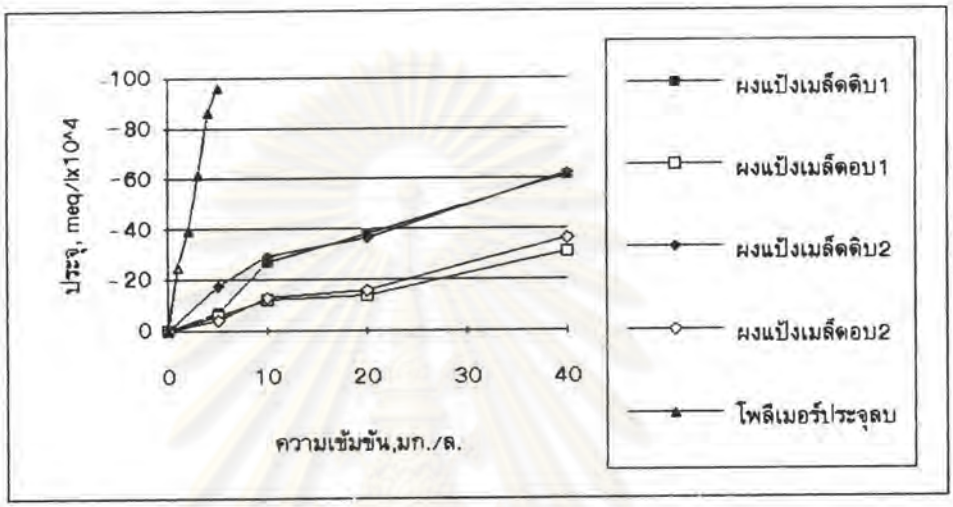
รูปที่ 5.10 ประจุของผงแป้งเมล็ดมะขามที่ใช้ทดลองที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 5.7 ค่าประจุของสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามที่ค่าพีเอชต่างๆ

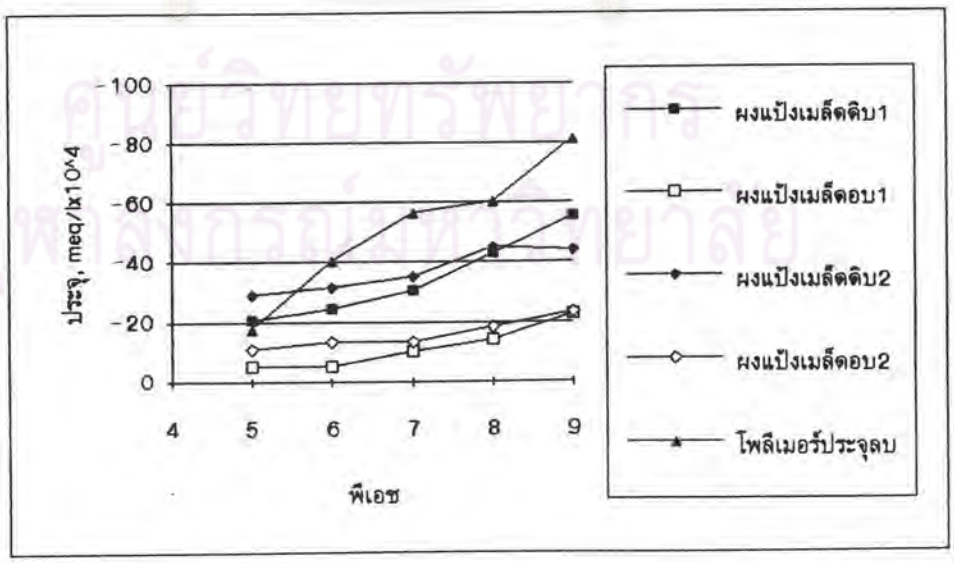
ความเข้มข้น, มก./ล.	พีเอช	ประจุ, meq/lx10^4			
		เมล็ดดิบ1	เมล็ดอบ1	เมล็ดดิบ2	เมล็ดอบ2
20	5.0	-20.54	-5.36	-28.93	11.07
20	6.0	-24.29	-5.36	-31.43	13.57
20	7.0	-30.54	-10.36	-35.18	13.57
20	8.0	-43.04	-14.11	-45.18	18.57
20	9.0	-55.54	-28.86	-43.93	23.57



รูปที่ 5.11 ประจุของผงแป้งเมล็ดมะขาม 20 มก./ล. ที่พีเอชต่างๆ



รูปที่ 5.12 ประจุของผงแป้งเมล็ดมะขามเปรียบเทียบกับโพลีเมอร์ประจุลบ



รูปที่ 5.13 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงประจุของผงแป้งเมล็ดมะขามเข้มข้น 20 มก./ล. และโพลีเมอร์ประจุลบเข้นข้น 3 มก./ล. ที่พีเอชต่างๆ

โพลีอิเลคโทรไลต์จากเมล็ดมะขามส่วนใหญ่จะได้จากคาร์โบไฮเดรท ซึ่งประกอบด้วยแป้งและโพลีแซคคาไรด์ ผงแป้งเมล็ดมะขามจะประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 45-60 ซึ่งโพลีแซคคาไรด์เหล่านี้ไม่มีประจุ(27) ดังนั้นประจุของสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามจึงน่าจะวัดได้จากส่วนอื่นที่ไม่ใช่โพลีแซคคาไรด์ ซึ่งอาจเกิดจากส่วนที่เป็นแป้งโดย functional group ของแป้งที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่คาร์บอกซีลจากการเติมโซเดียมคาร์บอเนต และหมู่ไฮดรอกซีลจากการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในกระบวนการเตรียมผงแป้งให้เป็นสารละลาย(6)

5.3 การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์

5.3.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น

ผลการทดลองการใช้เมล็ดมะขามทั้ง 4 แบบเป็นโคแอกกูแลนต์ โดยใช้น้ำดิบสังเคราะห์ที่มีค่าความขุ่นต่างๆ แสดงในตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.14 ผลการทดลองแยกตามชนิดของสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามแสดงในรูปที่ 5.15 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นแสดงในตารางที่ 5.9

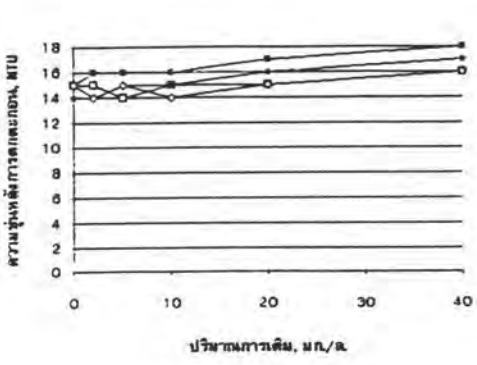
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามทั้ง 4 แบบ ให้ค่าผลการทดลองที่คล้ายคลึงกัน คือ เมื่อน้ำดิบมีความขุ่น 20 และ 50 NTU การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์ไม่สามารถลดค่าความขุ่นลงได้และยิ่งเติมโคแอกกูแลนต์มากขึ้นก็กลับจะทำให้ความขุ่นยิ่งสูงขึ้น เนื่องจากการใช้โพลีอิเลคโทรไลต์เป็นโคแอกกูแลนต์กับน้ำดิบที่มีความขุ่นต่ำ โอกาสสัมผัสกันระหว่างอนุภาคจะมีน้อย ดังนั้นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์จึงน่าจะเกิดจากกลไกการเกิดหย่อมประจุไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic patch) มากกว่ากลไกการใช้โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาค การทำลายเสถียรภาพด้วยกลไกดังกล่าวจะเกิดขึ้น เมื่อใช้โพลีอิเลคโทรไลต์ที่มีประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ ในกรณีนี้สารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามที่ใช้ในการทดลองมีประจุลบ ซึ่งเหมือนกับประจุของอนุภาคคอลลอยด์ การทำลายเสถียรภาพด้วยกลไกนี้จึงไม่เกิดขึ้น ส่วนการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกลไกการใช้โพลีอิเลคโทรไลต์สร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคนั้น เมื่อน้ำดิบที่มีความขุ่นต่ำโอกาสสัมผัสกันระหว่างอนุภาคจะมีน้อย เมื่อปลายอิสระของโพลีโตรเลคโทรไลต์ที่เกาะอยู่บนอนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วไม่ได้สัมผัสกับอนุภาคอื่นก็จะกลับมายึดเกาะบนอนุภาคเดิม ทำให้อนุภาคได้รับเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่(restabilized) จึงไม่สามารถลดความขุ่นของน้ำดิบลงได้

ตารางที่ 5.8 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนเมื่อใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์

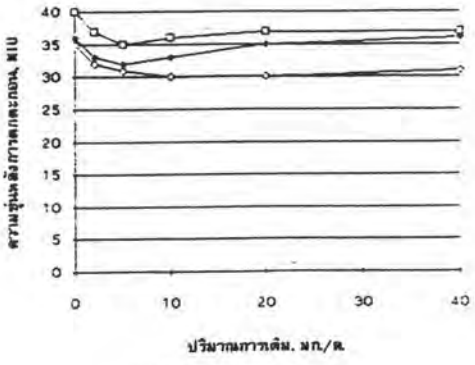
น้ำดิบ	ชนิดของโคแอกกูแลนต์	ความขุ่นหลังการตกตะกอน, ntu					
		ปริมาณโคแอกกูแลนต์, มก./ล.					
		0	2	5	10	20	40
20 ntu	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	15	16	16	16	17	18
	ผงแป้งเมล็ดอบ1	15	15	14	15	15	16
	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	14	14	15	15	16	17
	ผงแป้งเมล็ดอบ2	15	14	15	14	15	16
50 ntu	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	40	37	35	36	37	37
	ผงแป้งเมล็ดอบ1	40	37	35	36	37	37
	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	36	33	32	33	35	36
	ผงแป้งเมล็ดอบ2	35	32	31	30	30	31
100 ntu	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	92	85	85	80	84	85
	ผงแป้งเมล็ดอบ1	92	72	66	69	70	76
	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	65	55	51	59	62	63
	ผงแป้งเมล็ดอบ2	68	58	54	55	55	58
200 ntu	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	150	135	130	130	145	150
	ผงแป้งเมล็ดอบ1	155	135	140	125	140	150
	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	165	120	115	125	140	145
	ผงแป้งเมล็ดอบ2	160	100	80	90	110	125
300 ntu	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	260	230	210	190	210	220
	ผงแป้งเมล็ดอบ1	260	220	200	170	170	190
	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	250	210	200	190	180	190
	ผงแป้งเมล็ดอบ2	250	210	180	160	170	180
500 ntu	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	450	380	380	370	380	400
	ผงแป้งเมล็ดอบ1	470	360	300	280	250	300
	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	450	330	330	320	350	400
	ผงแป้งเมล็ดอบ2	470	320	270	230	220	270
1000 ntu	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	800	420	420	400	400	450
	ผงแป้งเมล็ดอบ1	850	400	340	380	400	430
	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	850	430	400	400	400	450
	ผงแป้งเมล็ดอบ2	880	450	400	320	320	400

ตารางที่ 5.9 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์

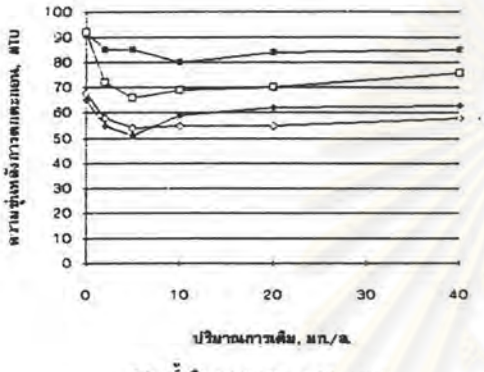
น้ำดิบ	ชนิดของโคแอกกูแลนต์	ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น, %					
		ปริมาณโคแอกกูแลนต์, มก./ล.					
		0	2	5	10	20	40
20 ntu	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	25	20	20	20	15	10
	ผงแป้งเมล็ดอบ1	25	25	30	25	25	20
	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	30	30	25	25	20	15
	ผงแป้งเมล็ดอบ2	25	30	25	30	25	20
50 ntu	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	20	26	30	28	26	26
	ผงแป้งเมล็ดอบ1	20	26	30	28	26	26
	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	28	34	36	34	30	28
	ผงแป้งเมล็ดอบ2	30	36	38	40	40	38
100 ntu	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	8	15	15	20	16	15
	ผงแป้งเมล็ดอบ1	8	28	34	31	30	24
	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	35	45	49	41	38	37
	ผงแป้งเมล็ดอบ2	32	42	46	45	45	42
200 ntu	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	25	33	35	35	28	25
	ผงแป้งเมล็ดอบ1	23	33	30	38	30	25
	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	18	40	43	38	30	28
	ผงแป้งเมล็ดอบ2	20	50	60	55	45	38
300 ntu	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	13	23	30	37	30	27
	ผงแป้งเมล็ดอบ1	13	27	33	43	43	37
	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	17	30	33	37	40	37
	ผงแป้งเมล็ดอบ2	17	30	40	47	43	40
500 ntu	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	10	24	24	26	24	20
	ผงแป้งเมล็ดอบ1	6	28	40	44	50	40
	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	10	34	34	36	30	20
	ผงแป้งเมล็ดอบ2	6	36	46	54	56	46
1000 ntu	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	20	58	58	60	60	55
	ผงแป้งเมล็ดอบ1	15	60	66	62	60	57
	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	15	57	60	60	60	55
	ผงแป้งเมล็ดอบ2	12	55	60	68	68	60



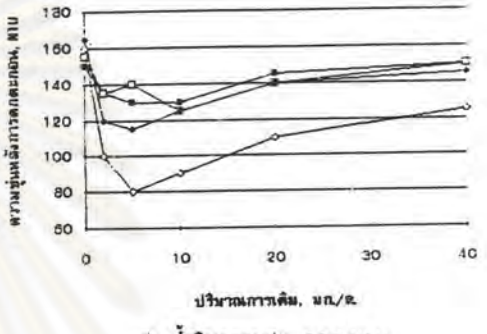
ก) น้ำดิบความขุ่น 20 NTU



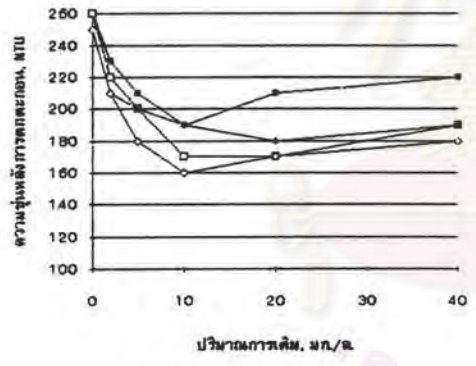
ข) น้ำดิบความขุ่น 50 NTU



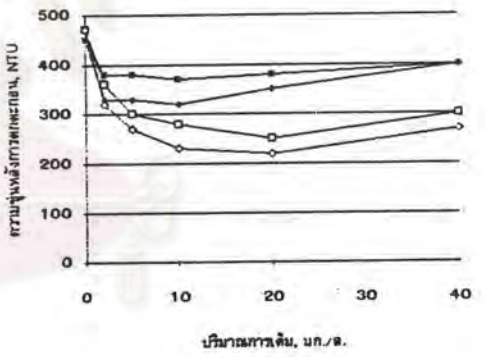
ค) น้ำดิบความขุ่น 100 NTU



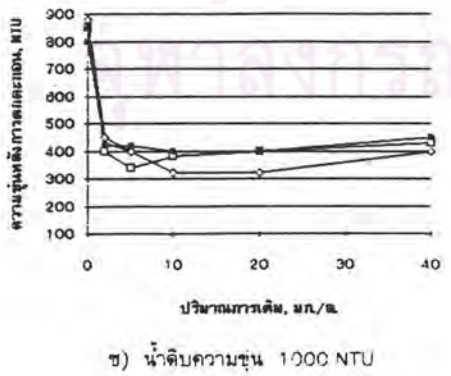
ง) น้ำดิบความขุ่น 200 NTU



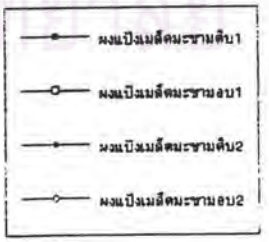
จ) น้ำดิบความขุ่น 300 NTU



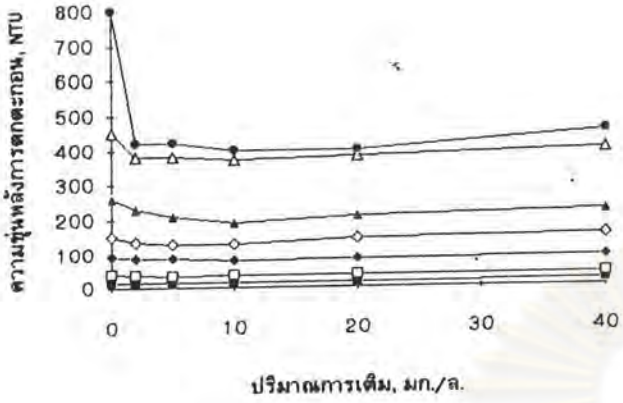
ฉ) น้ำดิบความขุ่น 500 NTU



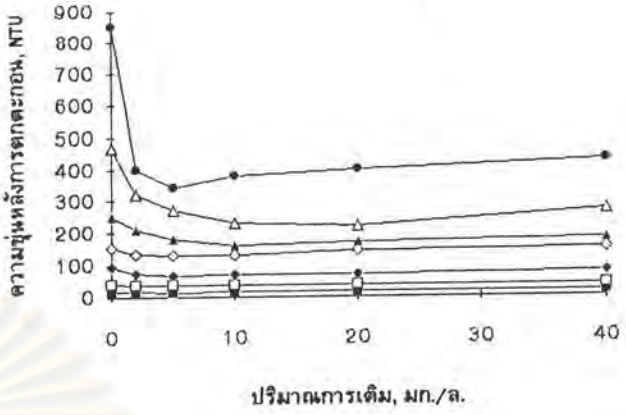
ช) น้ำดิบความขุ่น 1000 NTU



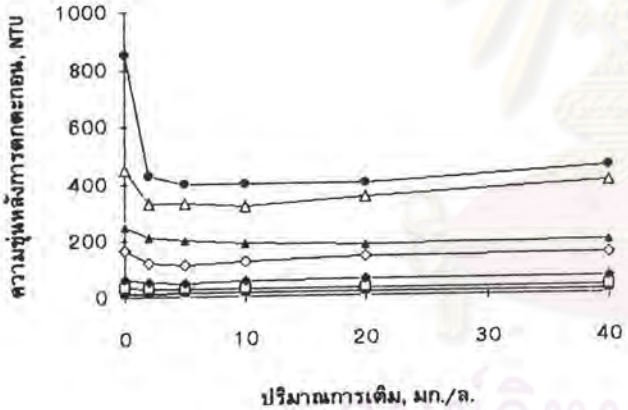
รูปที่ 5.14 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบที่ความขุ่นต่างๆ เมื่อใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์



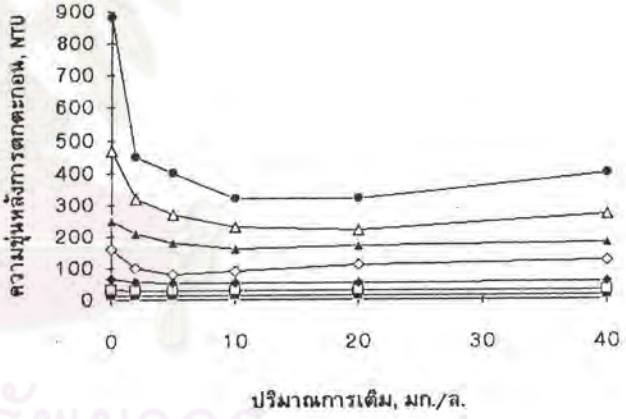
ก) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 1



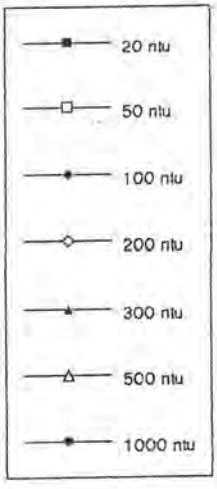
ข) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 1



ค) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 2



ง) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 2



รูปที่ 5.15 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบที่ความขุ่นต่างๆ
เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามแต่ละแบบเป็นโคแอกกูแลนต์

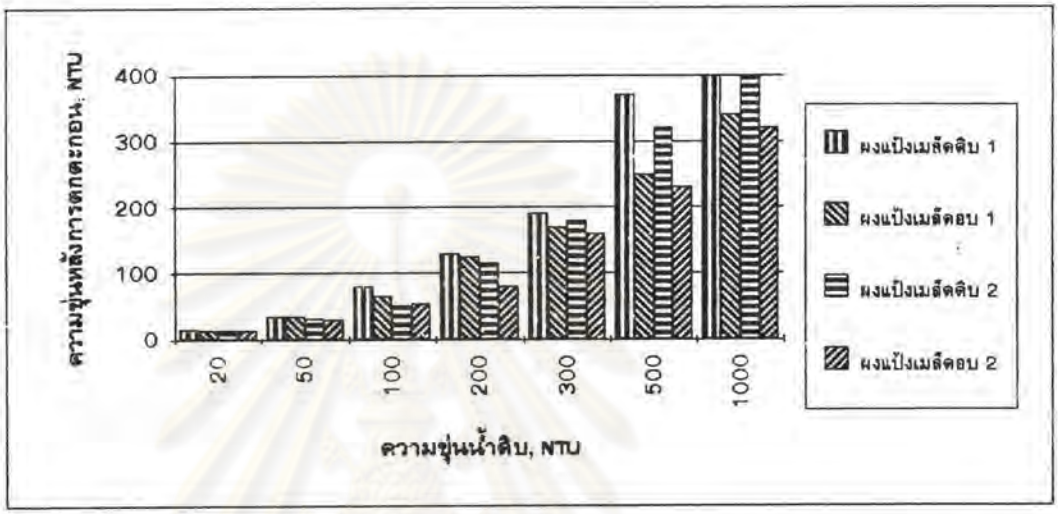
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อความขุ่นน้ำดิบเพิ่มสูงขึ้นคือ ตั้งแต่ 100 NTU ขึ้นไป การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์สามารถลดความขุ่นลงได้บ้าง แต่คุณภาพของน้ำหลังการตกตะกอนก็ยังไม่ดีพอสำหรับการกรอง เนื่องจากความขุ่นของน้ำหลังการการตกตะกอนไม่ควรมีค่าเกินกว่า 10 NTU การที่สารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามซึ่งมีประจุลบสามารถลดความขุ่นของอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีประจุที่เหมือนกันได้นั้น สามารถอธิบายได้ด้วยกลไกการใช้โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาค ด้วยกลไกนี้ประจุของโพลีเมอร์ไม่ใช่สิ่งจำเป็น แต่โพลีเมอร์ที่จะเกิดกลไกนี้ได้ดีจะต้องมีโมเลกุลขนาดใหญ่และแข็งแรงเพื่อที่จะสามารถเป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคได้อย่างกว้างขวาง และสามารถต้านทานต่อแรงผลักของประจุระหว่างอนุภาคและความปั่นป่วนจากการกวนน้ำได้

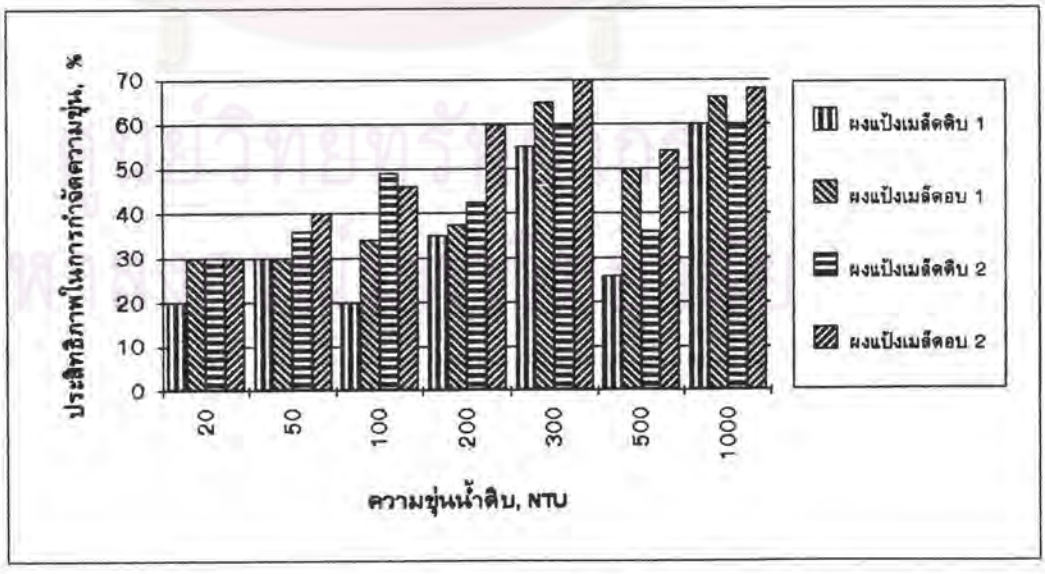
การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์ต้องเติมในปริมาณที่เหมาะสม ปริมาณการเติมในการทดลองของแต่ละความขุ่นจะเลือกช่วงการเติมที่ทำให้ความขุ่นที่เหลือมีค่าต่ำสุด จากผลการทดลองมีค่า 5-10 มก./ล. แม้จะเพิ่มปริมาณการเติมให้มากขึ้นก็ไม่เพิ่มความสามารถในการกำจัดความขุ่นได้ เมื่อความขุ่นน้ำดิบสูงขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจะเพิ่มขึ้น แต่ความขุ่นที่เหลือก็ยังคงมีค่าสูงอยู่ ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของการใช้เมล็ดมะขามทั้ง 4 แบบเป็นโคแอกกูแลนต์ ในปริมาณที่เหมาะสมแสดงในรูปที่ 5.16 ค่าความขุ่นที่เหลือของการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์แสดงในตารางที่ 5.10 เมื่อนำผลการใช้โคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะขามและสารส้มในการทดลองแต่ละความขุ่นมาเปรียบเทียบกันในรูปที่ 5.18 จะเห็นว่าการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์นั้นไม่สามารถลดความขุ่นที่เหลือให้ดีเท่ากับการใช้สารส้มได้ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นซึ่งแสดงในรูปที่ 5.17 มีค่าประมาณร้อยละ 30-60 และประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจะสูงขึ้นเมื่อความขุ่นของน้ำดิบเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงจะมีเป้าสัมผัสที่มากขึ้น ทำให้อนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วมีโอกาสที่จะมาสัมผัสและรวมกันเป็นฟล็อกได้มากกว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจึงดีขึ้น

5.3.2 ผลกระทบที่มีต่อพีเอชและสภาพด่างของน้ำและอิทธิพลของพีเอช

เมื่อพิจารณาถึงผลของพีเอชและค่าความเป็นด่างของน้ำหลังการตกตะกอน พบว่าการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์มีผลทำให้พีเอชและความเป็นด่างของน้ำมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งแตกต่างจากการใช้สารส้มที่ทำให้พีเอชและความเป็นด่างของน้ำลดลง เนื่องจาก Al^{+3} จะดึงเอาความเป็นด่างในน้ำออกไปใช้ในการเกิดเป็นสารประกอบทำให้ความเป็นด่างลดลง และมีผลทำให้ค่าพีเอชของน้ำลดลงด้วย แต่การใช้โพลีอิเลคโทรไลต์จากเมล็ดมะขามจะไม่ได้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว จึงไม่ทำให้ค่าความเป็นด่างลดลง ดังนั้นในกรณีที่น้ำดิบมีความขุ่นสูงมากอาจใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์ก่อนการใช้สารส้มเพื่อ



รูปที่ 5.16 ความขุ่นหลังการตกตะกอนเมื่อใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์



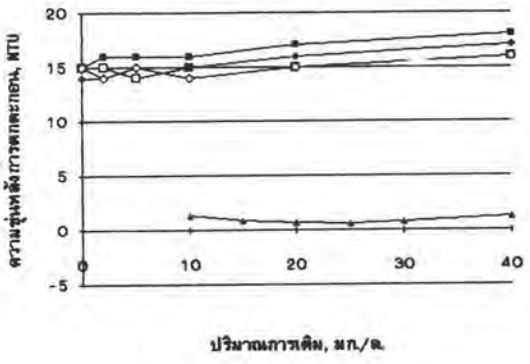
รูปที่ 5.17 ประสิทธิภาพในการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ 5.10 ความขุ่นหลังการตกตะกอนเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

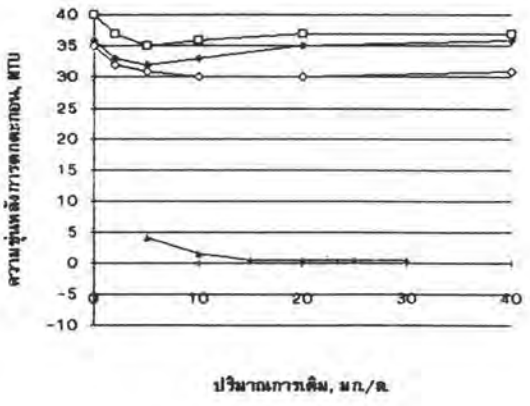
น้ำดิบ	ความขุ่นหลังการตกตะกอน, ntu														
	ปริมาณการเติมสารส้ม, มก./ล.														
	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
20 ntu	-	1.4	0.87	0.7*	0.65	0.84	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-
50 ntu	4.1	1.5	0.5	0.45*	0.47	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100 ntu	-	-	-	1.5	-	0.5*	0.6	0.9	1.1	1.9	-	-	-	-	-
200 ntu	-	-	-	2	-	1.9	1.8	1.5*	1.9	2.5	-	-	-	-	-
300 ntu	-	-	-	-	-	2.4	2.5	2.3	2.1*	2.2	2.4	-	-	-	-
500 ntu	-	-	-	-	-	-	3.2	2.8	2.6	2.2	2.1*	2.5	-	-	-
1000 ntu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2.5*	2.6	2.6	2.8	3.1

* ค่าที่เลือกเป็นปริมาณการเติมสารส้มที่เหมาะสม

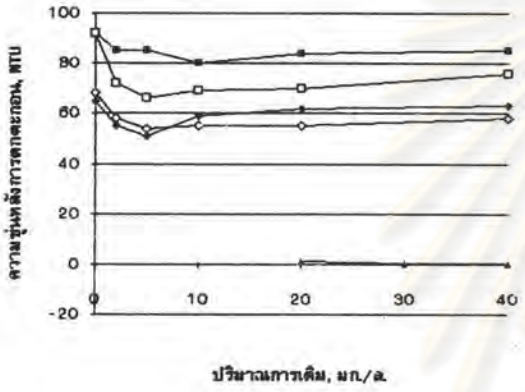
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



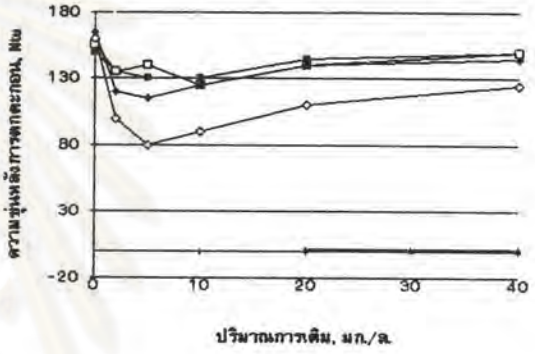
ก) น้ำดิบความขุ่น 20 NTU



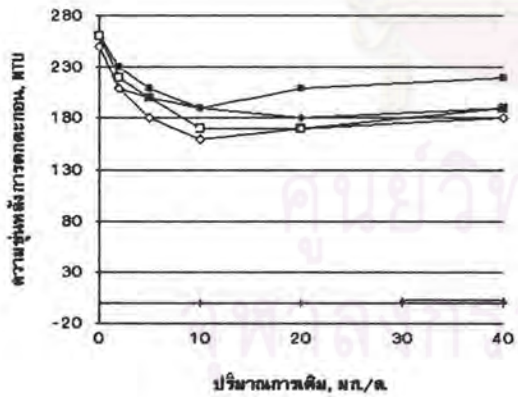
ข) น้ำดิบความขุ่น 50 NTU



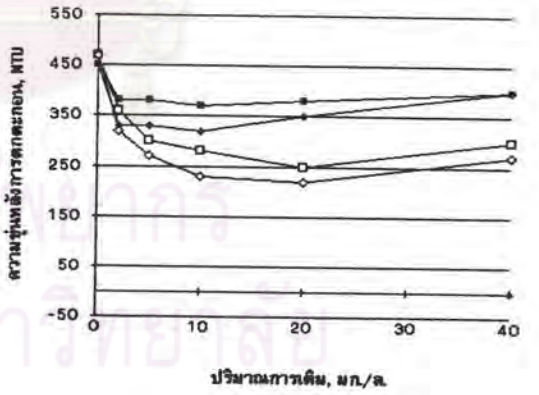
ค) น้ำดิบความขุ่น 100 NTU



ง) น้ำดิบความขุ่น 200 NTU



จ) น้ำดิบความขุ่น 300 NTU



ฉ) น้ำดิบความขุ่น 500 NTU

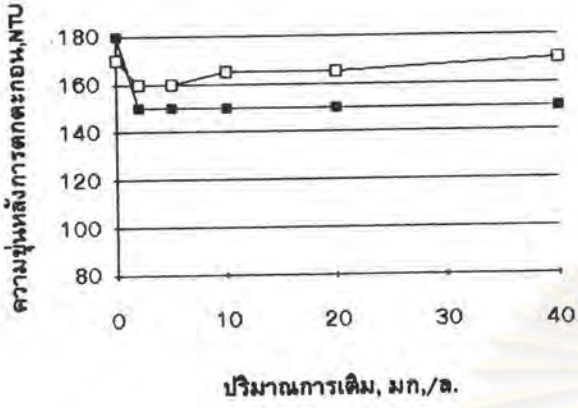
รูปที่ 5.18 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบที่ความขุ่นต่างๆ เมื่อใช้สารส้มและเมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์

ลดความขุ่นลงก่อนขั้นตอนหนึ่ง เพื่อที่จะได้ไม่ต้องใช้สารส้มเป็นปริมาณที่มากเกินไปซึ่งทำให้พีเอชของน้ำลดลงจนกระทั่งโคแอกกูเลชั่นเกิดขึ้นได้ไม่ดี

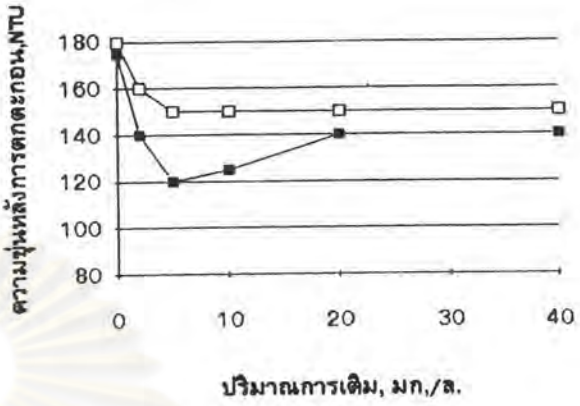
น้ำดิบที่ใช้ในการทดลองมีพีเอชประมาณ 7.5-7.8 เมื่อเติมโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะขามลงไปในปริมาณมากๆ (20 มก./ล.) จะทำให้พีเอชของน้ำดิบสูงขึ้นมากได้ ในบางครั้งจะสูงถึง 8.5 จึงต้องมีการทดลองเพื่อศึกษาว่าพีเอชมีผลต่อการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์หรือไม่ และปริมาณการเติมที่มากขึ้นนั้นไม่ได้ทำให้ค่าความขุ่นที่เหลือลดลง แม้จะมีพีเอชที่เหมาะกับการเกิดโคแอกกูเลชั่นก็ตาม ซึ่งทำการทดลองโดยใช้น้ำดิบความขุ่น 200 NTU ที่ทำการปรับพีเอชให้มีค่าประมาณ 6.5-7.0 เปรียบเทียบกับการใช้น้ำดิบที่เตรียมได้ปกติที่มีพีเอช 7.5-7.8 ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.19 จากผลการทดลอง จะเห็นว่า การใช้น้ำดิบที่มีการปรับพีเอชจะให้ค่าความขุ่นที่เหลือต่ำกว่าน้ำดิบที่มีพีเอชปกติ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากค่าพีเอชหลังการเติมโคแอกกูแลนต์แล้วมีค่าเหมาะสมสำหรับโคแอกกูเลชั่นมากกว่า คือมีค่าประมาณ 7.0-7.5 นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากที่พีเอชมีค่าต่ำกว่าค่าประจุลบของโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะขามจะมีค่าน้อยกว่าที่พีเอชสูง จึงอาจมีผลช่วยสนับสนุนให้โคแอกกูเลชั่นเกิดขึ้นได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนก็ยังมีค่าสูงอยู่มาก จากผลการทดลองนี้จะเห็นว่าแม้น้ำดิบที่มีค่าพีเอชต่ำ การใช้โคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะขามก็จะยังคงใช้ได้

5.3.3 การทดสอบความเสื่อมของผงแป้งเมล็ดมะขาม

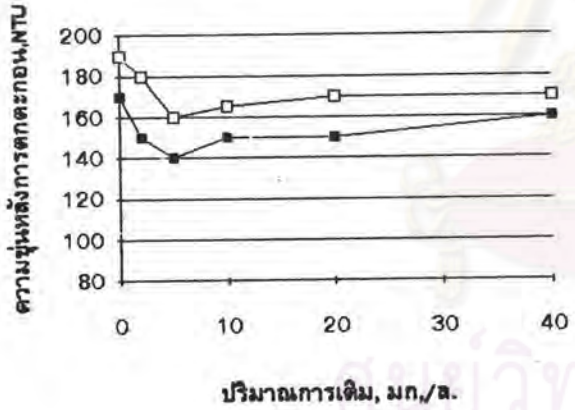
การนำผงแป้งเมล็ดมะขามที่มีอายุการเก็บ 0, 1 และ 2 เดือน มาทำการทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์โดยใช้น้ำดิบความขุ่น 200 NTU เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผงแป้งเมล็ดมะขามที่อายุการเก็บต่างๆกันได้ผลการทดลองดังในรูปที่ 5.20 และ 5.21 ซึ่งพบว่าการใช้ผงแป้งเมล็ดมะขามที่มีอายุการเก็บ 1 และ 2 เดือนก็ยังสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ได้ แต่ประสิทธิภาพจะไม่ดีเท่ากับผงแป้งเมล็ดมะขามที่เตรียมได้ใหม่ๆ เมื่อดูจากผลการทดลองจะเห็นว่าประสิทธิภาพของผงแป้งที่มีอายุการเก็บ 1 เดือนจะลดความขุ่นได้น้อยกว่าผงแป้งอายุ 2 เดือน การที่เป็นเช่นนี้ไม่ได้หมายความว่าผงแป้งที่มีอายุการเก็บ 1 เดือนจะเสื่อมมากกว่าผงแป้งอายุ 2 เดือน แต่น่าจะเกิดจากธรรมชาติของน้ำดิบที่มีความยากง่ายในการรวมตะกอนที่ไม่เท่ากันมากกว่า เมื่อดูประกอบกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีซึ่งค่าองค์ประกอบของผงแป้งค่อนข้างคงที่ จึงเป็นไปได้ว่าการที่ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นลดลงอาจมีสาเหตุมาจากการเสื่อมของผงแป้งซึ่งเกิดจากเอ็นไซม์ ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของผงแป้งมีการเปลี่ยนแปลงขนาดบ้าง แต่การวิเคราะห์ผงแป้งด้วยวิธีการนี้ไม่สามารถตรวจสอบได้ เมื่อดูผลการทดลองของผงแป้งในแต่ละชุด(รูปที่ 5.20)ก็ยังคงพบว่าผงแป้งเมล็ดอบยังคงสามารถลดความขุ่นได้ค่อนข้างดีกว่าผงแป้งเมล็ดดิบเช่นเดิม



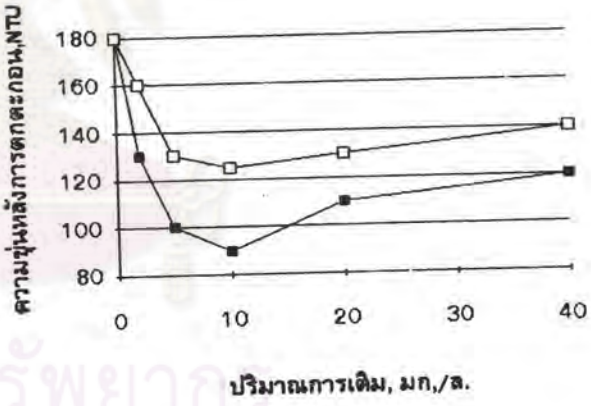
ก) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 1



ข) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 1



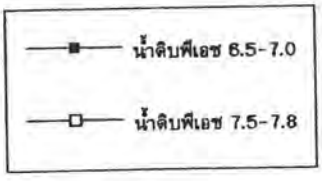
ค) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 2

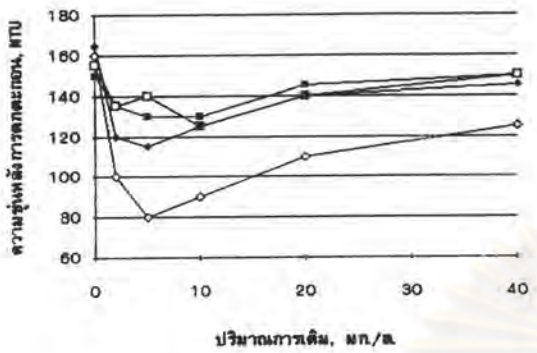


ง) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 2

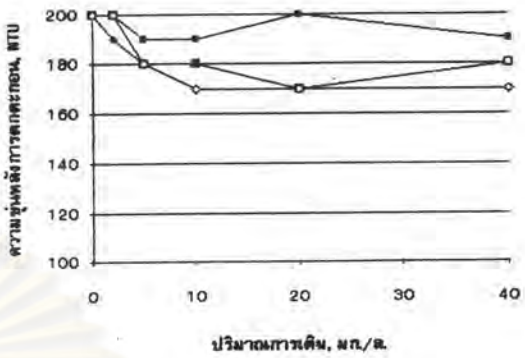
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.19 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบที่มีพีเอชต่างกัน เมื่อใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์

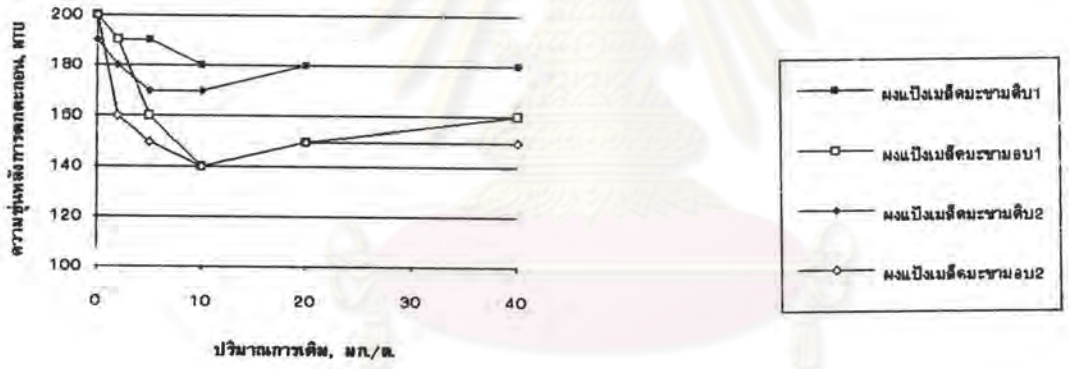




ก) ผงแป้งอายุ 0 เดือน



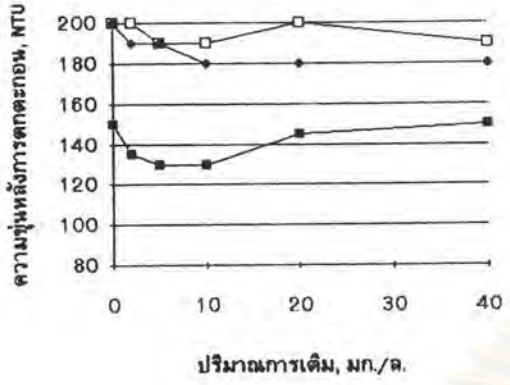
ข) ผงแป้งอายุ 1 เดือน



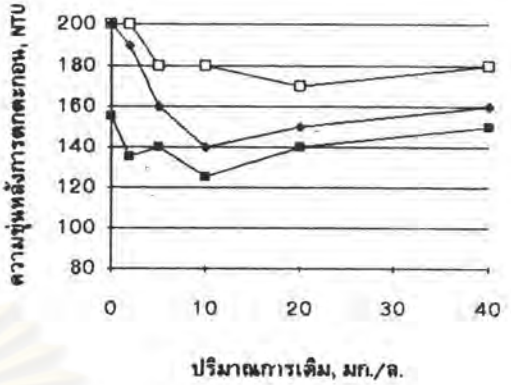
ค) ผงแป้งอายุ 2 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

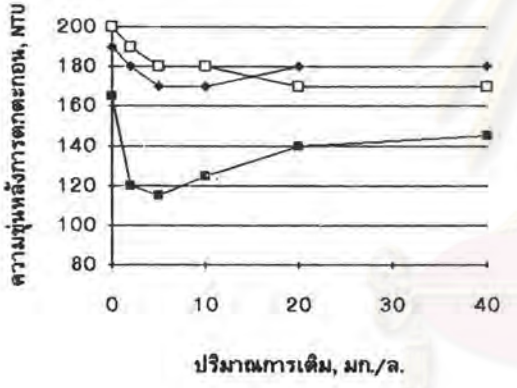
รูปที่ 5.20 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบ 200 NTU เมื่อใช้ผงแป้งเมล็ดมะขาม ที่มีอายุการเก็บ 0, 1 และ 2 เดือน เป็นโคแอกกูแลนต์



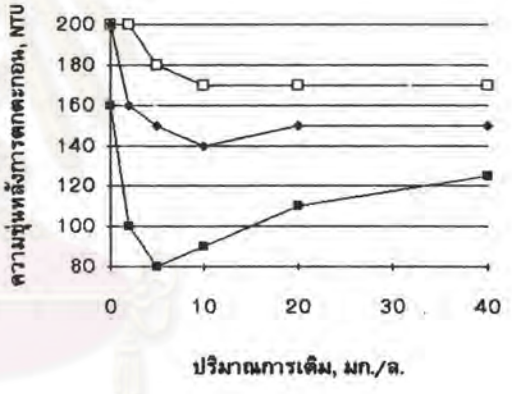
ก) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 1



ข) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 1

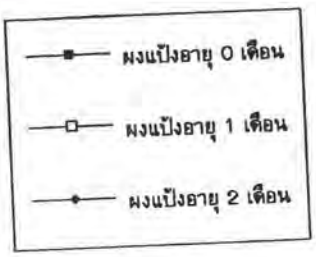


ค) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 2



ง) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.21 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบ 200 NTU
เปรียบเทียบเมื่อใช้ผงแป้งเมล็ดมะขามที่มีอายุ 0, 1 และ 2 เดือนเป็นโคแอกกูแลนต์

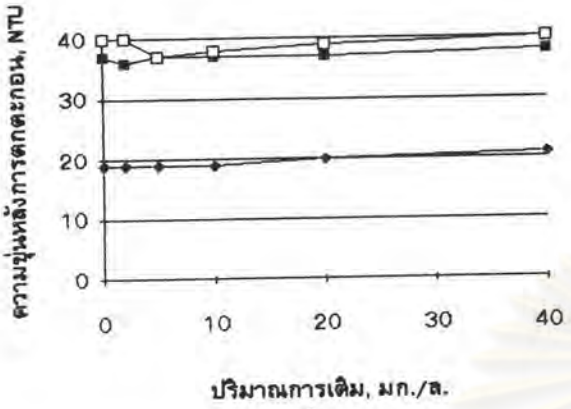
5.3.4 การกำจัดความขุ่นของน้ำดิบจากคลองประปา

การทดลองโดยใช้น้ำดิบจริงจากคลองประปาสามเสนซึ่งมีความขุ่น 40, 41 และ 23 NTU ได้ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 5.22 พบว่าการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์จะไม่สามารถลดความขุ่นของน้ำดิบลงได้แต่อย่างใด เนื่องจากน้ำดิบมีความขุ่นต่ำดังได้กล่าวมาแล้ว และจะสังเกตเห็นว่าเมื่อน้ำดิบเริ่มมีความขุ่นสูงขึ้นการลดความขุ่นจะเริ่มเกิดขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับน้ำดิบสังเคราะห์จะเห็นว่าให้ผลการทดลองที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ อย่างไรก็ตามยังไม่ได้มีการทดลองน้ำดิบจริงที่มีความขุ่นสูงซึ่งน่าจะเกิดการลดความขุ่นที่ดีขึ้นเช่นเดียวกันกับการใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์ ซึ่งในการนำไปใช้อาจใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เพื่อลดความขุ่นของน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงก่อนการใช้สารส้มได้

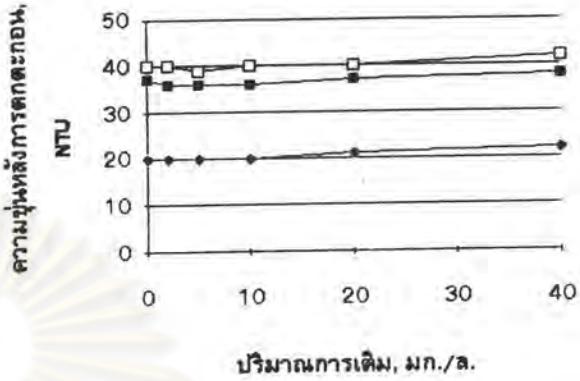
5.3.5 การนำไปใช้งาน

เมื่อดูผลการใช้โคแอกกูแลนต์จากสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามทั้ง 4 แบบในรูปที่ 5.15 จะเห็นว่ามีผลการทดลองที่คล้ายคลึงกัน คือประสิทธิภาพในการลดความขุ่นจะดีขึ้น เมื่อความขุ่นของน้ำดิบสูงขึ้น แต่เมื่อดูรูปที่ 5.14 ซึ่งเปรียบเทียบการใช้ผงแป้งเมล็ดมะขามแต่ละแบบ จะสังเกตเห็นว่าการใช้ผงแป้งเมล็ดอบส่วนใหญ่นั้นจะมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นที่ดีกว่าผงแป้งเมล็ดดิบ จากผลการวัดประจุของสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามทั้ง 4 แบบ ซึ่งพบว่าสารละลายผงแป้งเมล็ดอบจะมีประจุลบน้อยกว่าสารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ จึงเป็นไปได้ว่าการใช้โคแอกกูแลนต์ที่มีประจุลบน้อยกว่านั้นน่าจะสามารถลดค่าความขุ่นได้ดีกว่า ดังนั้นในการนำไปใช้งานนั้นควรจะเลือกใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 2 ซึ่งให้ผลการทดลองที่ค่อนข้างดีและมีวิธีการเตรียมที่สะดวกกว่า

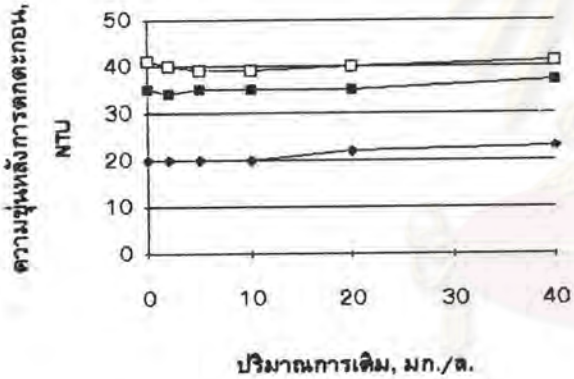
จากการทดลองของ Robinson(7) ซึ่งใช้โพลีอิเลคโทรไลต์ที่มีประจุบวก, ประจุลบ และไม่มีประจุเป็นโคแอกกูแลนต์ พบว่าโพลีอิเลคโทรไลต์ชนิดประจุบวกและไม่มีประจุจะให้ผลที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม แต่การใช้โพลีอิเลคโทรไลต์ประจุลบนั้นไม่สามารถลดความขุ่นที่เหลือให้ได้คุณภาพที่ดีได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้ อย่างไรก็ตาม เมื่อน้ำดิบมีความขุ่นสูงๆจะเห็นว่าการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์นั้น สามารถลดความขุ่นลงได้ผลน่าพอใจแม้ค่าความขุ่นที่เหลือจะยังมีค่าสูงอยู่ก็ตาม เนื่องจากปริมาณการใช้ผงแป้งนั้นจะใช้เพียง 5-10 มก./ล.เท่านั้น ซึ่งจากผลการทดลองนี้อาจมีการนำไปใช้เพื่อเป็นโคแอกกูแลนท์ก่อนการใช้สารส้มในกรณีที่น้ำดิบมีความขุ่นสูงๆได้



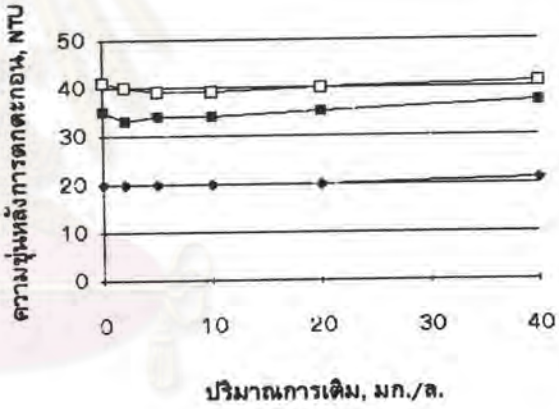
ก) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 1



ข) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 1

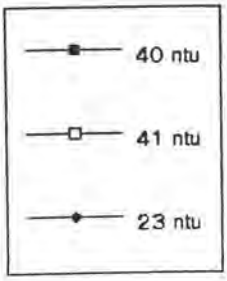


ค) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 2



ง) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.22 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบจากคลองประปา เมื่อใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอด

5.4.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น

จากผลการตรวจสอบประจุของสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขาม พบว่าสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามทั้ง 4 แบบมีประจุลบ ดังนั้นในการทดลองจึงใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์-เอดโดยการเติมในขั้นตอนการกวนช้า ผลการทดลองการใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามทั้ง 4 แบบเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มร้อยละ 50 ของปริมาณที่เหมาะสม แสดงในตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.23 เมื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มโดยใช้ปริมาณสารส้มร้อยละ 25 ของปริมาณที่เหมาะสมจะได้ผลดังตารางที่ 5.13 และรูปที่ 5.24 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนเปรียบเทียบเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เพียงอย่างเดียวกับการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอด แสดงรูปที่ 5.25 และ 5.26 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นแสดงไว้ในตารางที่ 5.12 และ 5.14

จากผลการทดลองใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดกับน้ำดิบความขุ่น 20 และ 50 NTU พบว่า การใช้โคแอกกูแลนต์เอดไม่สามารถลดความขุ่นของน้ำหลังการตกตะกอนให้ต่ำกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวได้ แต่เมื่อพิจารณาขนาดของฟล็อกที่ได้พบว่ามีลักษณะเป็นปุยขนาดใหญ่และตกตะกอนได้เร็วกว่าฟล็อกที่เกิดจากการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว สำหรับน้ำดิบที่มีความขุ่นตั้งแต่ 100 NTUขึ้นไป การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม จะสามารถลดความขุ่นของน้ำหลังการตกตะกอนได้ต่ำกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวเมื่อมีปริมาณการเติมที่เหมาะสม การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดจะได้ฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ และสามารถตกตะกอนได้ดีกว่าฟล็อกที่เกิดจากการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวดังรูปที่ 5.27 ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าการใช้โคแอกกูแลนต์เอดจะทำให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เร็วกว่าฟล็อกที่ใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวได้ ประสิทธิภาพในการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดจะเห็นชัดเจนขึ้นเมื่อความขุ่นน้ำดิบสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.25 และ 5.26

โคแอกกูเลชั่นด้วยสารส้มในน้ำธรรมชาตินั้น ส่วนใหญ่มักมีกลไกเป็นแบบห่อหุ้มอนุภาคด้วยผลึกสารประกอบ (sweep coagulation) โดยอาจมีกลไกการดูดติดผิวและทำลายประจุเป็นกลไกร่วมที่มีบทบาทด้อยกว่า กลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคด้วยผลึกเกิดจากการที่สารส้มสร้างผลึก $Al(OH)_3$ ที่มีลักษณะเป็นปุย เมื่ออนุภาคมาสัมผัสก็จะจับตัวอยู่บนผลึกนั้น การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดสามารถช่วยลดความขุ่นได้ โดยกลไกการใช้โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาค โดยโพลีอิเลคโทรไลต์จะเป็นสะพานเชื่อมต่ออนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพเข้าด้วยกัน ทำให้ได้ฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

ตารางที่ 5.11 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนเมื่อใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดที่ 50 %ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

ก) น้ำดิบความขุ่น 20, 50 และ 100 ntu

น้ำดิบ	ปริมาณสารส้ม มก./ล.	ชนิดของโคแอกกูแลนต์เอด	ความขุ่นหลังการตกตะกอน, ntu					
			ปริมาณโคแอกกูแลนต์เอด, มก./ล.					
			0	1	1.5	2	2.5	3
20 ntu	12.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	0.9	1	1	1	1.1	1.1
	12.5	ผงแป้งเมล็ดอบ1	0.9	1	0.9	1	1	1.1
	12.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	0.7	0.9	1.1	1	1.1	1.1
	12.5	ผงแป้งเมล็ดอบ2	1	1.2	1	1.2	1.3	1.3
50 ntu	10	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	1.3	1.6	1.4	1.5	1.5	1.6
	10	ผงแป้งเมล็ดอบ1	1.4	1.6	1.5	1.6	2	2
	10	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	2	2.1	2	2.2	2.5	2.5
	10	ผงแป้งเมล็ดอบ2	1.4	1.8	1.6	1.9	2	2.1
100 ntu	15	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	1.2	1.5	1.3	1.1	1.5	1.9
	15	ผงแป้งเมล็ดอบ1	1.2	1.4	1.3	1.1	1.2	1.6
	15	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	0.8	0.8	0.7	0.8	0.9	1
	15	ผงแป้งเมล็ดอบ2	0.8	0.9	0.7	0.8	1	1.1

ข) น้ำดิบความขุ่น 200, 300 , 500 และ 1000 ntu

น้ำดิบ	ปริมาณสารส้ม มก./ล.	ชนิดของโคแอกกูแลนต์เอด	ความขุ่นหลังการตกตะกอน, ntu					
			ปริมาณโคแอกกูแลนต์เอด, มก./ล.					
			0	1	2	3	4	5
200 ntu	25	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	1.5	1.1	1	1	1.2	1.4
	25	ผงแป้งเมล็ดอบ1	1.2	1.2	1	1.1	1.1	1.1
	25	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	1.5	1.8	1.4	1.5	1.5	1.5
	25	ผงแป้งเมล็ดอบ2	1.5	1.4	1	1.1	1.2	1.2
300 ntu	30	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	5.9	4.8	5	4.5	4.4	4.9
	30	ผงแป้งเมล็ดอบ1	8.7	5.5	5	4	4.2	4.8
	30	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	4.5	4.2	4	4.2	5	4.6
	30	ผงแป้งเมล็ดอบ2	6.1	4.1	3.7	4	4	5
500 ntu	40	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	4.8	2	2	1.4	1.5	1.5
	40	ผงแป้งเมล็ดอบ1	4.2	3	2.8	1.6	2	2.4
	40	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	3.4	1.8	1.7	2	2	2.1
	40	ผงแป้งเมล็ดอบ2	3.8	2.3	2.1	2	2	2.2
1000 ntu	40	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	4.3	3.2	3	2.7	3.2	3.3
	40	ผงแป้งเมล็ดอบ1	3.6	2.9	2.6	2.3	3	3
	40	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	4	3	2.8	2.5	2.7	3
	40	ผงแป้งเมล็ดอบ2	3.7	2.7	2.6	2.5	3.2	3.3

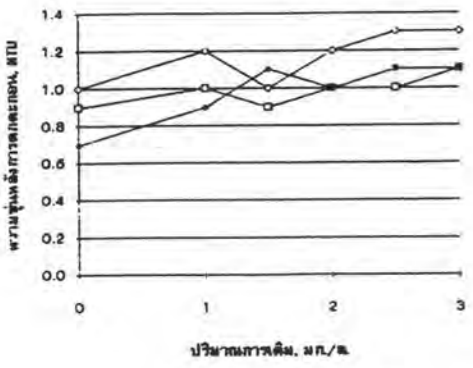
ตารางที่ 5.12 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดที่ 50 %ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

ก) น้ำดิบความขุ่น 20, 50 และ 100 ntu

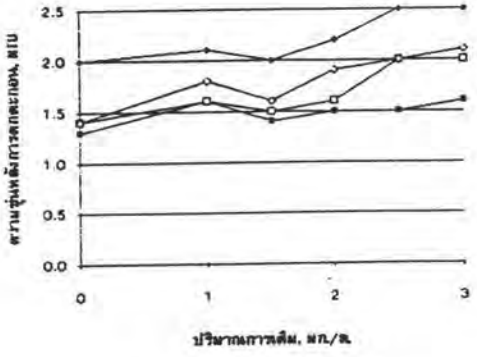
น้ำดิบ	ปริมาณสารส้ม มก./ล.	ชนิดของโคแอกกูแลนต์เอด	ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น, %					
			ปริมาณโคแอกกูแลนต์เอด, มก./ล.					
			0	1	1.5	2	2.5	3
20 ntu	12.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	95.5	95.0	95.0	95.0	94.5	94.5
	12.5	ผงแป้งเมล็ดอบ1	95.5	95.0	95.5	95.0	95.0	94.5
	12.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	96.5	95.5	94.5	95.0	94.5	94.5
	12.5	ผงแป้งเมล็ดอบ2	95.0	94.0	95.0	94.0	93.5	93.5
50 ntu	10	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	97.4	96.8	97.2	97.0	97.0	96.8
	10	ผงแป้งเมล็ดอบ1	97.2	96.8	97.0	96.8	96.0	96.0
	10	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	96.0	95.8	96.0	95.6	95.0	95.0
	10	ผงแป้งเมล็ดอบ2	97.2	96.4	96.8	96.2	96.0	95.8
100 ntu	15	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	98.8	98.5	98.7	98.9	98.5	98.1
	15	ผงแป้งเมล็ดอบ1	98.8	98.6	98.7	98.9	98.8	98.4
	15	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	99.2	99.2	99.3	99.2	99.1	99.0
	15	ผงแป้งเมล็ดอบ2	99.2	99.1	99.3	99.2	99.0	98.9

ข) น้ำดิบความขุ่น 200, 300 , 500 และ 1000 ntu

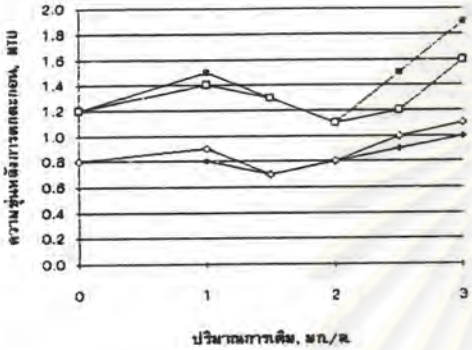
น้ำดิบ	ปริมาณสารส้ม มก./ล.	ชนิดของโคแอกกูแลนต์เอด	ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น, %					
			ปริมาณโคแอกกูแลนต์เอด, มก./ล.					
			0	1	2	3	4	5
200 ntu	25	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	99.3	99.5	99.5	99.5	99.4	99.3
	25	ผงแป้งเมล็ดอบ1	99.4	99.4	99.5	99.5	99.5	99.5
	25	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	99.3	99.1	99.3	99.3	99.3	99.3
	25	ผงแป้งเมล็ดอบ2	99.3	99.3	99.5	99.5	99.4	99.4
300 ntu	30	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	98.0	98.4	98.3	98.5	98.5	98.4
	30	ผงแป้งเมล็ดอบ1	97.1	98.2	98.3	98.7	98.6	98.4
	30	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	98.5	98.6	98.7	98.6	98.3	98.5
	30	ผงแป้งเมล็ดอบ2	98.0	98.6	98.8	98.7	98.7	98.3
500 ntu	40	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	99.0	99.6	99.6	99.7	99.7	99.7
	40	ผงแป้งเมล็ดอบ1	99.2	99.4	99.4	99.7	99.6	99.5
	40	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	99.3	99.6	99.7	99.6	99.6	99.6
	40	ผงแป้งเมล็ดอบ2	99.2	99.5	99.6	99.6	99.6	99.6
1000 ntu	40	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	99.6	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7
	40	ผงแป้งเมล็ดอบ1	99.7	99.7	99.8	99.8	99.7	99.7
	40	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	99.6	99.7	99.7	99.8	99.7	99.7
	40	ผงแป้งเมล็ดอบ2	99.6	99.7	99.7	99.8	99.7	99.7



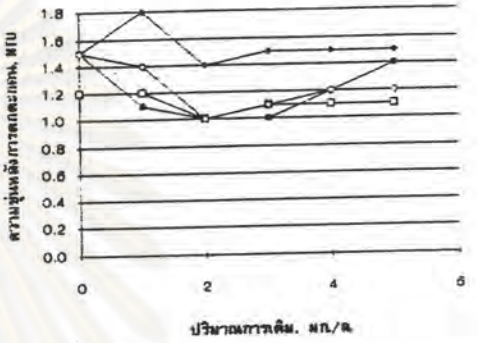
ก) น้ำดิบความขุ่น 20 NTU



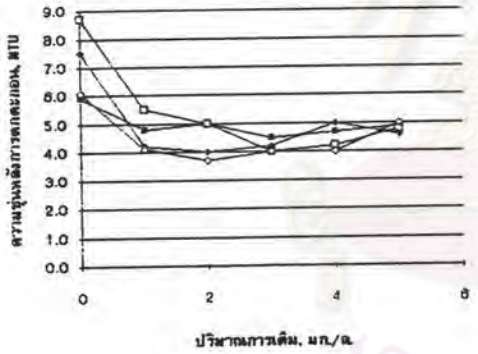
ข) น้ำดิบความขุ่น 50 NTU



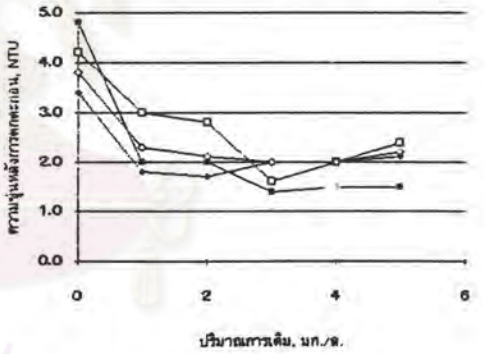
ค) น้ำดิบความขุ่น 100 NTU



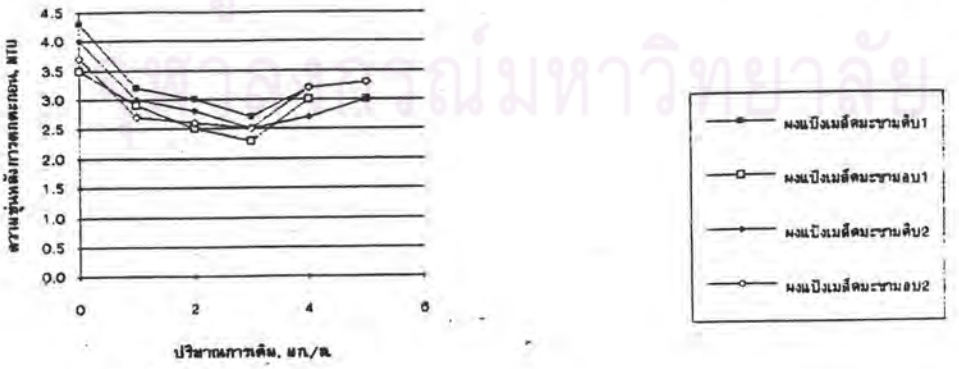
ง) น้ำดิบความขุ่น 200 NTU



จ) น้ำดิบความขุ่น 300 NTU



ฉ) น้ำดิบความขุ่น 500 NTU



ช) น้ำดิบความขุ่น 1000 NTU

รูปที่ 5.23 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบที่ความขุ่นต่างๆ เมื่อใช้เมล็ดมะขาม เป็นโคแอกกูแลนท์เอดร่วมกับสารสัมที่ 50 %ของปริมาณที่เหมาะสม

ตารางที่ 5.13 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนเมื่อใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดที่ 25 %ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

ก) น้ำดิบความขุ่น 20, 50 และ 100 ntu

น้ำดิบ	ปริมาณสารส้ม มก./ล.	ชนิดของโคแอกกูแลนต์เอด	ความขุ่นหลังการตกตะกอน, ntu					
			ปริมาณโคแอกกูแลนต์เอด, มก./ล.					
			0	1	1.5	2	2.5	3
20 ntu	6.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	3.4	4.1	4.5	5.5	7	7.3
	6.5	ผงแป้งเมล็ดอบ1	3.2	3.5	4.3	4.4	4.5	5.2
	6.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	2.8	4.1	4	4	4.5	4.6
	6.5	ผงแป้งเมล็ดอบ2	2.3	3.7	3.5	3	3.3	3.6
50 ntu	5	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	5.6	8.2	7.5	8	8.6	12
	5	ผงแป้งเมล็ดอบ1	6.1	7	6.5	6.5	8.5	9
	5	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	6.5	8.3	7	8.4	8.6	8.8
	5	ผงแป้งเมล็ดอบ2	6.7	8.6	8	8.9	8.7	9.5
100 ntu	7.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	3.2	4.4	3.1	4	4.6	5
	7.5	ผงแป้งเมล็ดอบ1	4.2	4.1	4	4.5	4.7	4.7
	7.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	3.9	4	3	3.5	4.5	4.9
	7.5	ผงแป้งเมล็ดอบ2	2.7	2.4	2.5	2.2	2.8	3.6

ข) น้ำดิบความขุ่น 200, 300 , 500 และ 1000 ntu

น้ำดิบ	ปริมาณสารส้ม มก./ล.	ชนิดของโคแอกกูแลนต์เอด	ความขุ่นหลังการตกตะกอน, ntu					
			ปริมาณโคแอกกูแลนต์เอด, มก./ล.					
			0	1	2	3	4	5
200 ntu	12.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	4.5	4.5	3.7	4.5	6	6.5
	12.5	ผงแป้งเมล็ดอบ1	4.3	4.2	4.2	4	5	5.2
	12.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	3	3.4	2.5	3	3.5	3.6
	12.5	ผงแป้งเมล็ดอบ2	2.5	3.1	2.9	2.3	2.5	2.5
300 ntu	15	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	21	13	17	20	19	20
	15	ผงแป้งเมล็ดอบ1	20	14	15	15	14	17
	15	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	25	14	16	18	19	20
	15	ผงแป้งเมล็ดอบ2	20	14	15	16	17	16
500 ntu	20	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	7.5	5	5.5	5.9	6.2	6.5
	20	ผงแป้งเมล็ดอบ1	8.7	4.7	5	6	6	6.2
	20	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	6.4	5.5	4.1	4	5.5	5.5
	20	ผงแป้งเมล็ดอบ2	8.5	5.4	5.4	4.6	4.8	5.5
1000 ntu	20	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	10	9	14	15	17	17
	20	ผงแป้งเมล็ดอบ1	10	7.6	9.4	11	16	16
	20	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	12	9	11	11	14	15
	20	ผงแป้งเมล็ดอบ2	12	9	8	11	10	14

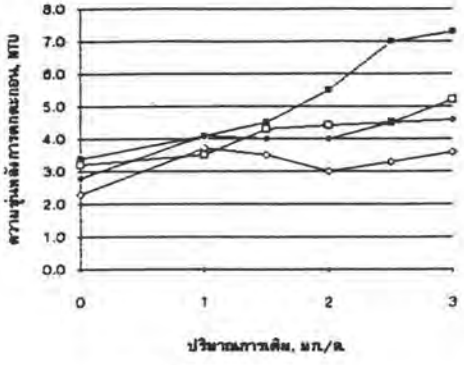
ตารางที่ 5.14 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดที่ 25 %ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

ก) น้ำดิบความขุ่น 20, 50 และ 100 ntu

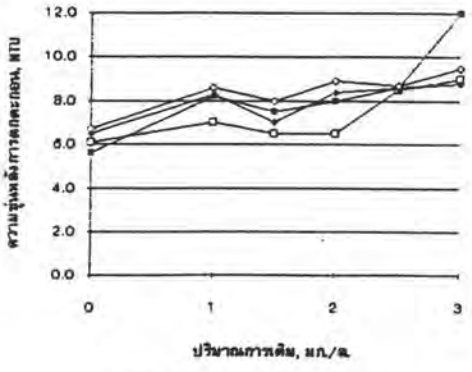
น้ำดิบ	ปริมาณสารส้ม มก./ล.	ชนิดของโคแอกกูแลนต์เอด	ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น, %					
			ปริมาณโคแอกกูแลนต์เอด, มก./ล.					
			0	1	1.5	2	2.5	3
20 ntu	6.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	83.0	79.5	77.5	72.5	65.0	63.5
	6.5	ผงแป้งเมล็ดอบ1	84.0	82.5	78.5	78.0	77.5	74.0
	6.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	86.0	79.5	80.0	80.0	77.5	77.0
	6.5	ผงแป้งเมล็ดอบ2	88.5	81.5	82.5	85.0	83.5	82.0
50 ntu	5	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	88.8	83.6	85.0	84.0	82.8	76.0
	5	ผงแป้งเมล็ดอบ1	87.8	86.0	87.0	87.0	83.0	82.0
	5	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	87.0	83.4	86.0	83.2	82.8	82.4
	5	ผงแป้งเมล็ดอบ2	86.6	82.8	84.0	82.2	82.6	81.0
100 ntu	7.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	96.8	95.6	96.9	96.0	95.4	95.0
	7.5	ผงแป้งเมล็ดอบ1	95.8	95.9	96.0	95.5	95.3	95.3
	7.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	96.1	96.0	97.0	96.5	95.5	95.1
	7.5	ผงแป้งเมล็ดอบ2	97.3	97.6	97.5	97.8	97.2	96.4

ข) น้ำดิบความขุ่น 200, 300 , 500 และ 1000 ntu

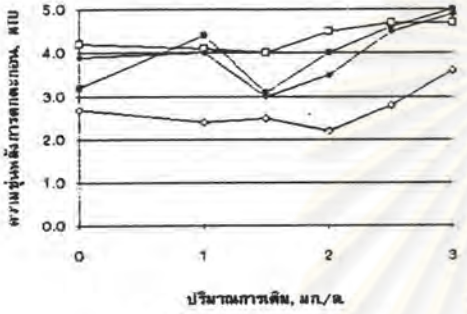
น้ำดิบ	ปริมาณสารส้ม มก./ล.	ชนิดของโคแอกกูแลนต์เอด	ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น, %					
			ปริมาณโคแอกกูแลนต์เอด, มก./ล.					
			0	1	2	3	4	5
200 ntu	12.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	97.8	97.8	98.2	97.8	97.0	96.8
	12.5	ผงแป้งเมล็ดอบ1	97.9	97.9	97.9	98.0	97.5	97.4
	12.5	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	98.5	98.3	98.8	98.5	98.3	98.2
	12.5	ผงแป้งเมล็ดอบ2	98.8	98.5	98.6	98.9	98.8	98.8
300 ntu	15	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	93.0	95.7	94.3	93.3	93.7	93.3
	15	ผงแป้งเมล็ดอบ1	93.3	95.3	95.0	95.0	95.3	94.3
	15	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	91.7	95.3	94.7	94.0	93.7	93.3
	15	ผงแป้งเมล็ดอบ2	93.3	95.3	95.0	94.7	94.3	94.7
500 ntu	20	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	98.5	99.0	98.9	98.8	98.8	98.7
	20	ผงแป้งเมล็ดอบ1	98.3	99.1	99.0	98.8	98.8	98.8
	20	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	98.7	98.9	99.2	99.2	98.9	98.9
	20	ผงแป้งเมล็ดอบ2	98.3	98.9	98.9	99.1	99.0	98.9
1000 ntu	20	ผงแป้งเมล็ดดิบ1	99.0	99.1	98.6	98.5	98.3	98.3
	20	ผงแป้งเมล็ดอบ1	99.0	99.3	99.1	98.9	98.5	98.5
	20	ผงแป้งเมล็ดดิบ2	98.8	99.1	98.9	98.9	98.6	98.5
	20	ผงแป้งเมล็ดอบ2	98.8	99.1	99.2	98.9	99.0	98.6



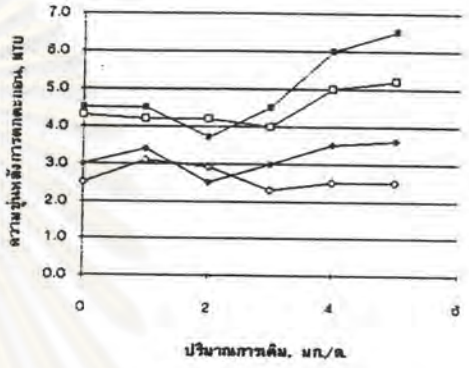
ก) น้ำดิบความขุ่น 20 NTU



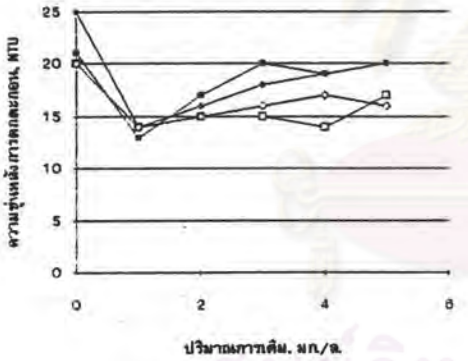
ข) น้ำดิบความขุ่น 50 NTU



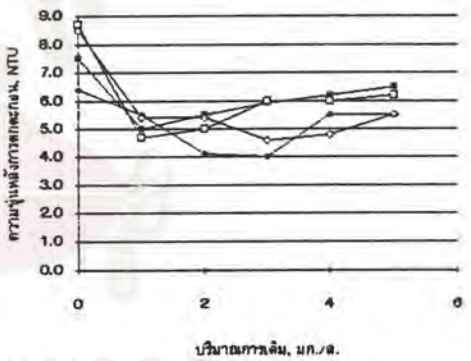
ค) น้ำดิบความขุ่น 100 NTU



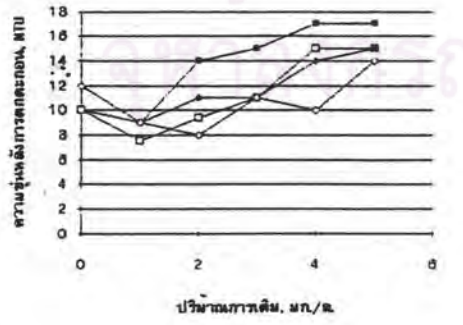
ง) น้ำดิบความขุ่น 200 NTU



จ) น้ำดิบความขุ่น 300 NTU

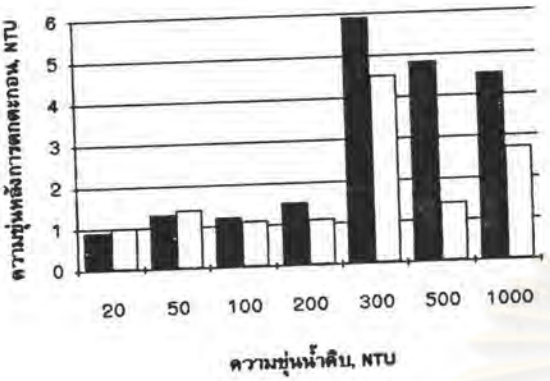


ฉ) น้ำดิบความขุ่น 500 NTU

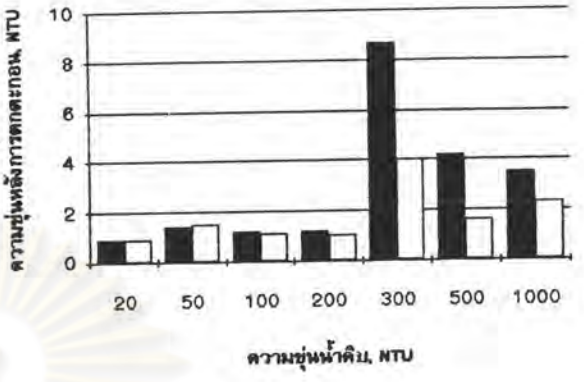


ช) น้ำดิบความขุ่น 1000 NTU

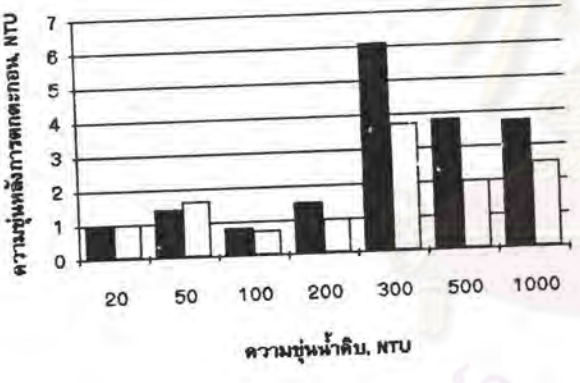
รูปที่ 5.24 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบที่ความขุ่นต่างๆ เมื่อใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนท์เอดร่วมกับสารสัมที่ 25 %ของปริมาณที่เหมาะสม



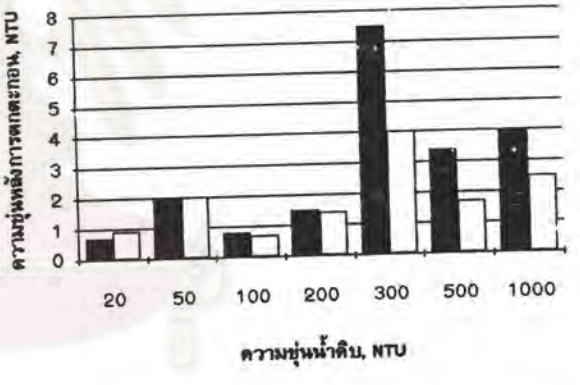
ก) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 1



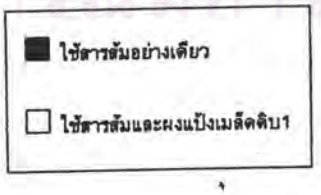
ข) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 1



ค) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 2

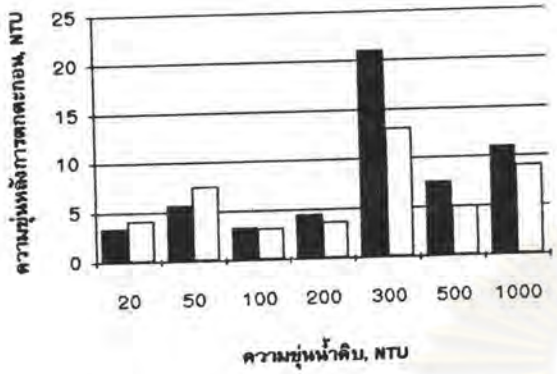


ง) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 2

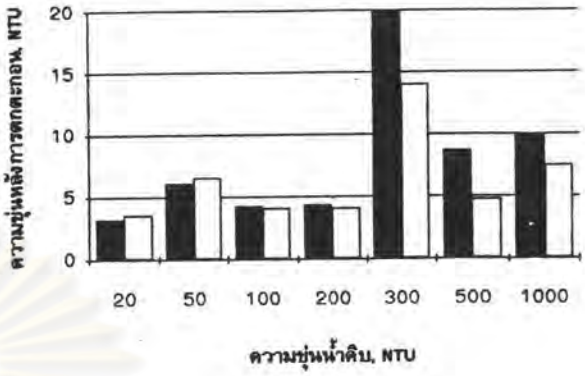


รูปที่ 5.25 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนเปรียบเทียบระหว่างเมื่อใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวกับใช้โคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขามร่วมกับสารส้มที่ 50%ของปริมาณที่เหมาะสม

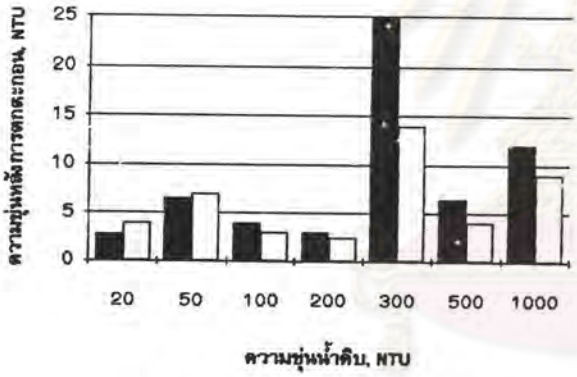
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



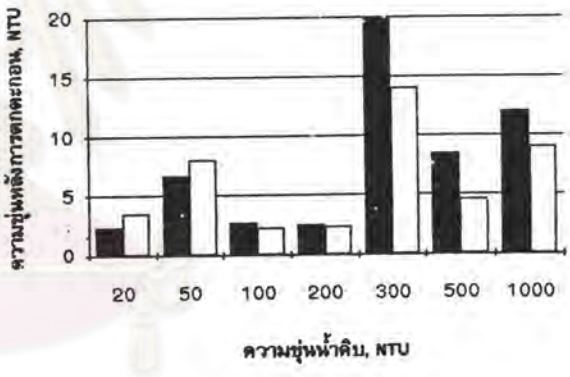
ก) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 1



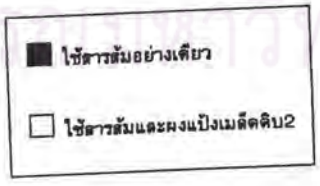
ข) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 1



ค) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 2

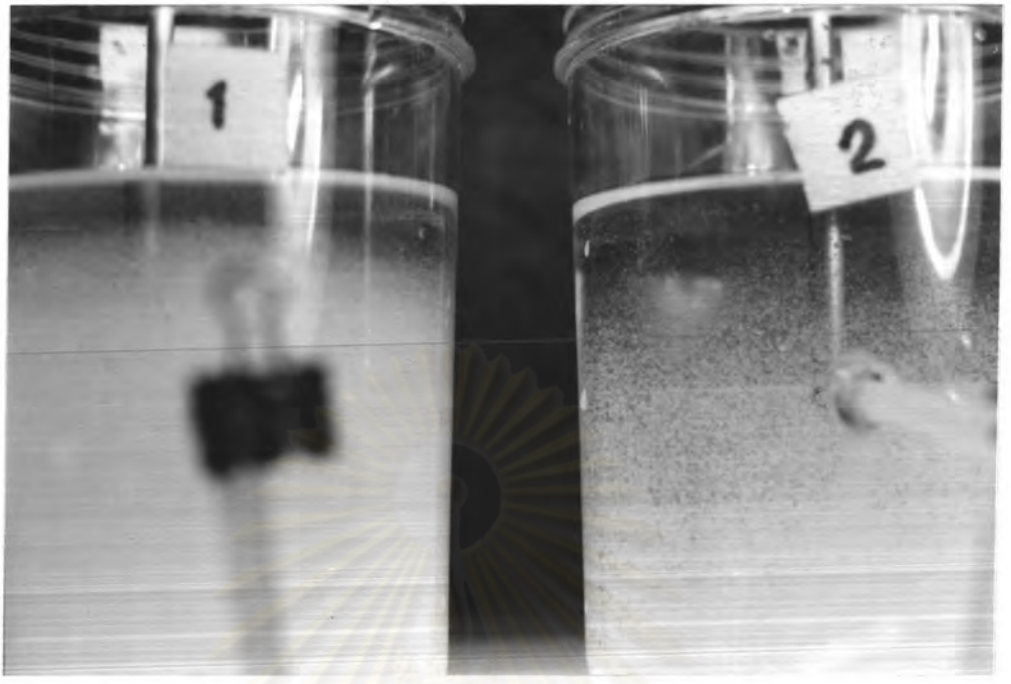


ง) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 2

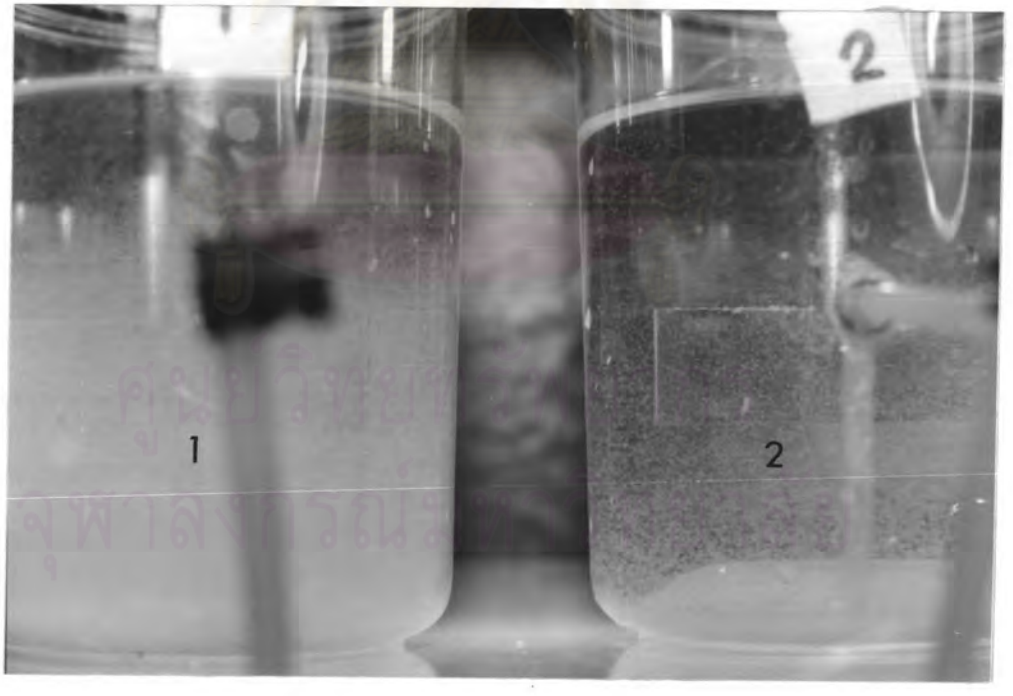


รูปที่ 5.26 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนเปรียบเทียบระหว่างเมื่อใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวกับใช้โคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขามร่วมกับสารส้มที่ 25%ของปริมาณที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) เวลาในการตกตะกอน 2 นาที



ข) เวลาในการตกตะกอน 4 นาที

รูปที่ 5.27 การตกตะกอนเมื่อมีการใช้โคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขาม

1) ใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว

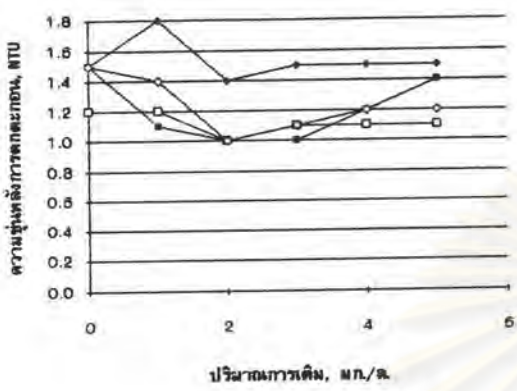
2) ใช้สารส้มร่วมกับโคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขาม

การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของพีเอชและค่าความเป็นด่างน้อยมาก เนื่องจากปริมาณการเติมโคแอกกูแลนต์เอดที่เหมาะสมมีค่าเพียง 1-3 มก./ล. ขึ้นอยู่กับความขุ่นของน้ำดิบเริ่มต้น เมื่อความขุ่นน้ำดิบสูงขึ้นปริมาณการใช้โคแอกกูแลนต์เอดก็จะสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เพราะโพลีอิเลคโทรไลต์ไม่สามารถเพิ่มเป้าสัมผัสได้ ดังนั้นปริมาณโพลีอิเลคโทรไลต์ที่เติมจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณฟล็อกที่เกิด ในการใช้โคแอกกูแลนต์เอดจะต้องเติมในปริมาณที่เหมาะสม การเติมในปริมาณที่น้อยไปการรวมตะกอนก็จะไม่สามารถเกิดได้ดี แต่ถ้าเติมในปริมาณที่มากเกินไปก็จะทำให้ความขุ่นกลับสูงขึ้นอีกได้ เนื่องจากการที่มีโพลีอิเลคโทรไลต์ไปเกาะบนอนุภาคมากเกินไปทำให้ไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเกาะติดกับอนุภาคอื่น เมื่อปลายอิสระของโพลีอิเลคโทรไลต์ไม่สามารถเกาะติดบนอนุภาคอื่นก็จะกลับมาเกาะบนอนุภาคเดิมทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรภาพขึ้นมาอีก ความขุ่นของน้ำจึงกลับสูงขึ้นได้

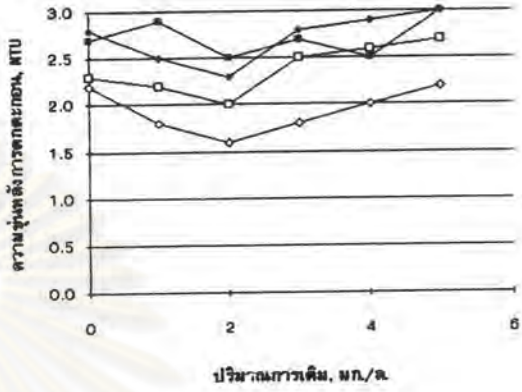
การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอด จะเห็นผลในการลดความขุ่นที่ชัดเจนขึ้นเมื่อน้ำดิบมีความขุ่นสูงขึ้น โดยเริ่มเห็นผลชัดเจนเมื่อความขุ่นตั้งแต่ 300 NTU ขึ้นไป เนื่องจากน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงปริมาณฟล็อกจะมีมากทำให้เวลาในการตกตะกอนเป็นสิ่งสำคัญ การใช้โคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขามจะทำให้ฟล็อกที่เกิดรวมตัวกันใหญ่ขึ้นซึ่งเพิ่มความสามารถในการตกตะกอน อย่างไรก็ตามการใช้โพลีอิเลคโทรไลต์เป็นโคแอกกูแลนต์เอดในขั้นตอนการกวนช้านั้น ไม่จำเป็นว่าจะต้องลดปริมาณการใช้โคแอกกูแลนต์ เนื่องจากการใช้โคแอกกูแลนต์เอดนี้ไม่ได้เป็นการทำลายเสถียรภาคของอนุภาคคอลลอยด์ แต่มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มความสามารถในการตกตะกอน, การกรอง และลดปริมาณสลัดจ์ที่เกิดขึ้นมากกว่า ดังนั้นในการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์อาจไม่ได้เป็นการลดปริมาณการใช้สารส้ม แต่จะช่วยเพิ่มความสามารถในการตกตะกอน ทำให้ได้น้ำใสที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

5.4.2 การทดสอบความเสื่อมของผงแป้งเมล็ดมะขาม

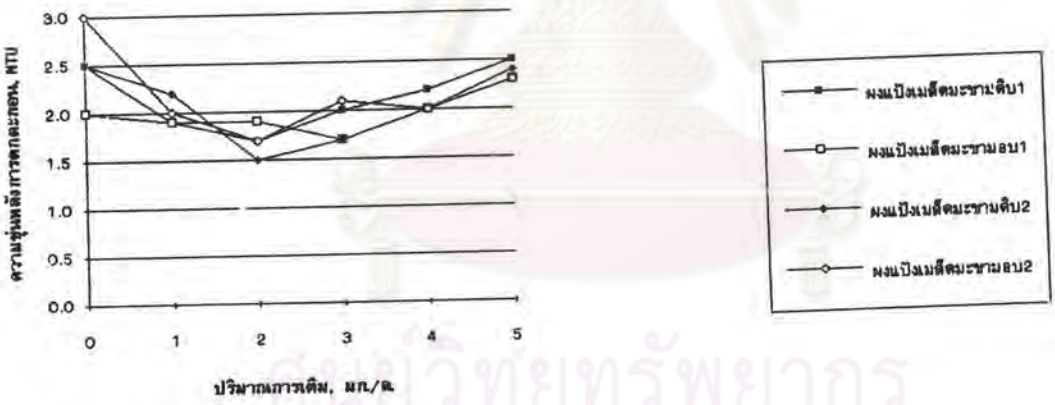
จากการนำผงแป้งเมล็ดมะขามที่เก็บไว้เป็นเวลา 0, 1 และ 2 เดือน มาทดสอบประสิทธิภาพในการใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มโดยใช้สารส้มร้อยละ 50 และ 25 ของปริมาณที่เหมาะสม โดยใช้น้ำดิบที่มีความขุ่น 200 NTU ได้ผลการทดลองดังในรูปที่ 5.28, 5.29, 5.30 และ 5.31 จากรูปที่ 5.28 และ 5.29 ซึ่งเป็นผลการทดลองเมื่อใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มร้อยละ 50 ของปริมาณที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่าแม้ผงแป้งเมล็ดมะขามจะเก็บไว้นาน 2 เดือนก็ยังสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดที่มีประสิทธิภาพที่ดีได้โดยมีปริมาณการเติมเท่าเดิม แต่เมื่อดูจากรูปที่ 5.30 และ 5.31 ซึ่งใช้ปริมาณสารส้มร้อยละ 25 จะเห็นว่าการใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดจะเริ่มใช้ไม่ได้ผลดีนัก



ก) ผงแป้งอายุ 0 เดือน



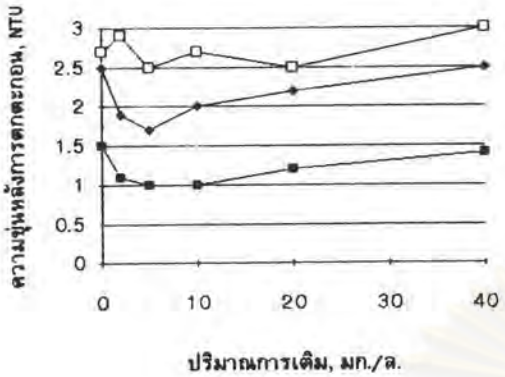
ข) ผงแป้งอายุ 1 เดือน



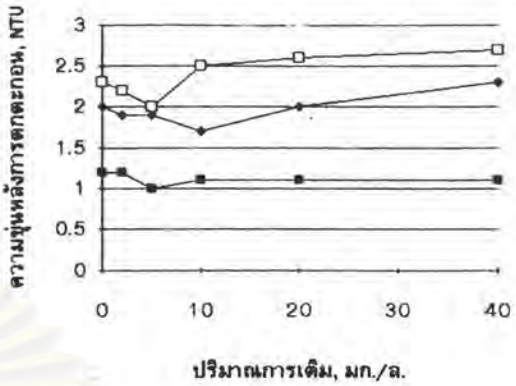
ค) ผงแป้งอายุ 2 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

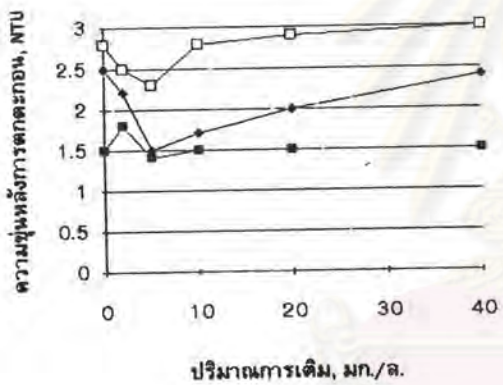
รูปที่ 5.28 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบ 200 NTU เมื่อใช้ผงแป้งเมล็ดมะขามที่มีอายุการเก็บ 0, 1 และ 2 เดือน เป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มที่ 50 %ของปริมาณที่เหมาะสม



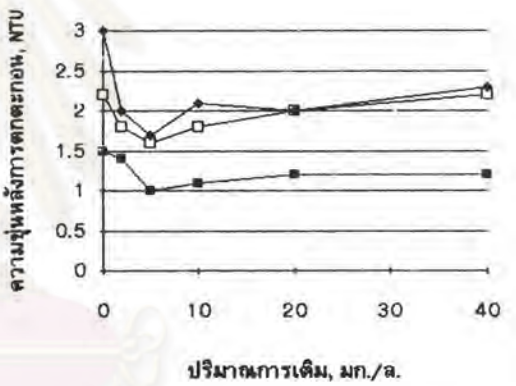
ก) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 1



ข) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 1

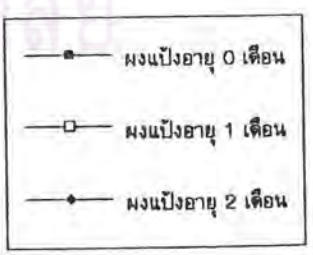


ค) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 2

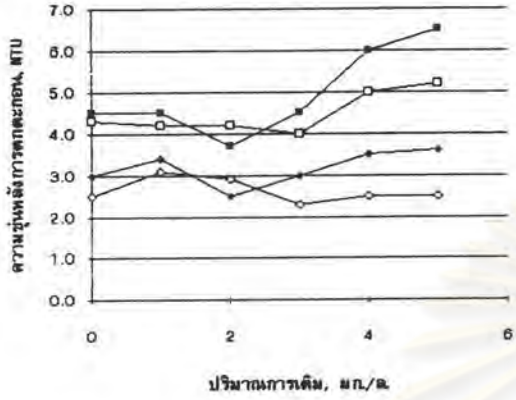


ง) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 2

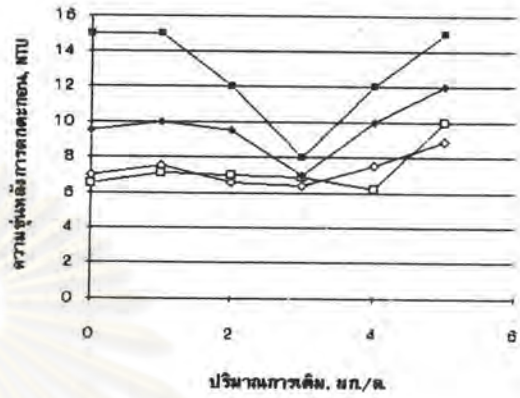
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



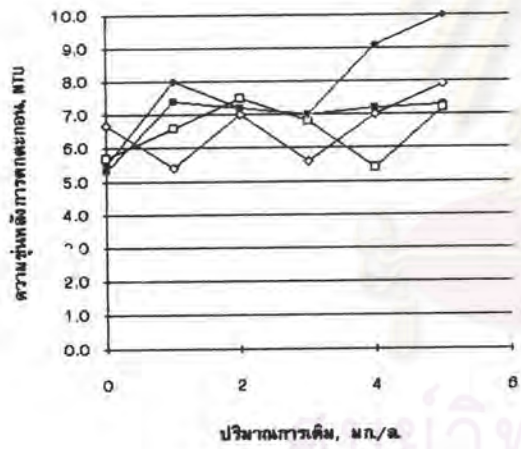
รูปที่ 5.29 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบ 200 NTU เปรียบเทียบเมื่อใช้ผงแป้งเมล็ดมะขามอายุ 0, 1 และ 2 เดือน เป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มที่ 50 %ของปริมาณที่เหมาะสม



ก) ผงแป้งอายุ 0 เดือน



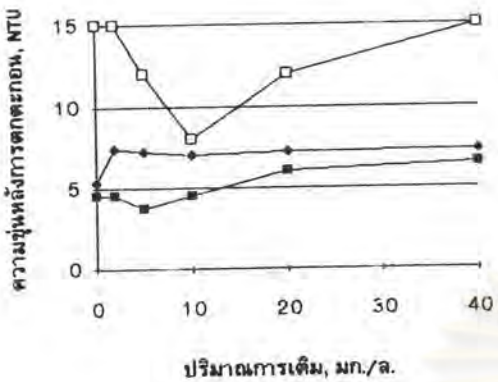
ข) ผงแป้งอายุ 1 เดือน



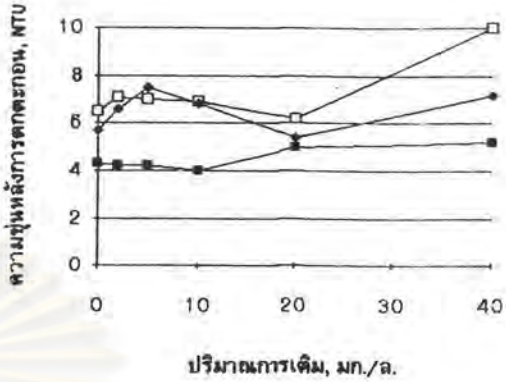
ค) ผงแป้งอายุ 2 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

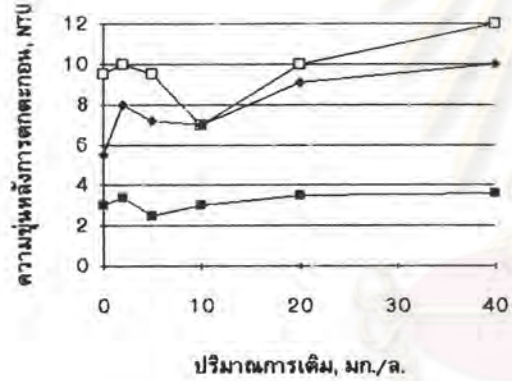
รูปที่ 5.30 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบ 200 NTU เมื่อใช้ผงแป้งเมล็ดมะขามที่มีอายุการเก็บ 0, 1 และ 2 เดือน เป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มที่ 25 %ของปริมาณที่เหมาะสม



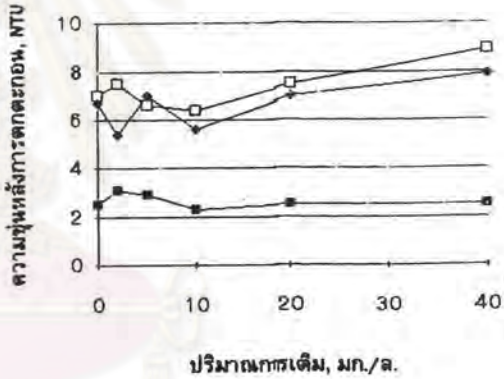
ก) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 1



ข) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 1

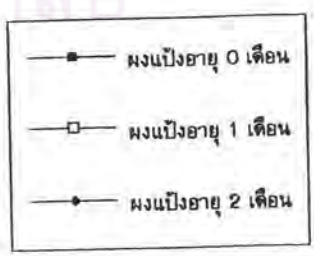


ค) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดดิบ 2



ง) เมื่อใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.31 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบ 200 NTU เปรียบเทียบเมื่อใช้ผงแป้งเมล็ดมะขามอายุ 0, 1 และ 2 เดือน เป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มที่ 25 %ของปริมาณที่เหมาะสม

ถึงแม้จะเป็นผงแป้งที่เตรียมได้ใหม่ๆ ซึ่งสาเหตุน่าจะเนื่องมาจากปริมาณการใช้สารส้มไม่เหมาะสมมากกว่าเกิดจากการเสื่อมของผงแป้ง แสดงให้เห็นว่าผงแป้งเมล็ดมะขามที่เก็บไว้นานถึง 2 เดือนก็ยังสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดที่ดีได้เมื่อใช้ร่วมกับสารส้มในปริมาณที่เหมาะสม

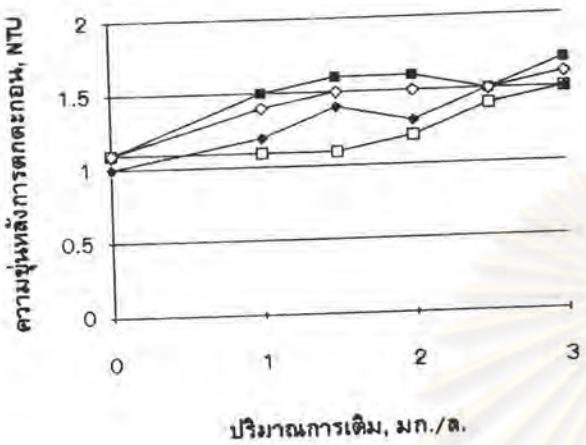
5.4.3 การทดสอบกับน้ำดิบจากคลองประปา

ในการทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์เอดกับน้ำดิบจากคลองประปาสามเสน ซึ่งมีความขุ่น 23, 40 และ 41 NTU ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.32 และ 5.33 ซึ่งผลการทดลองพบว่าในการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดนั้น ไม่สามารถลดค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนให้ต่ำกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวได้ แต่ฟล็อกที่ได้จะมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้ดีกว่าฟล็อกที่เกิดจากการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เพียงอย่างเดียวเช่นเดียวกับการใช้น้ำดิบสังเคราะห์

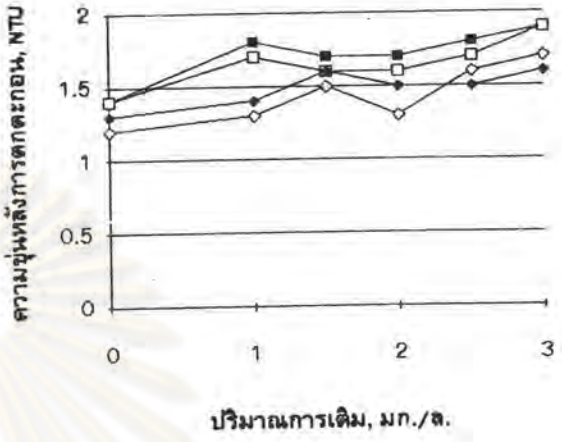
5.4.4 การนำไปใช้งาน

จากผลการทดลองการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดนั้น พบว่าสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามทั้ง 4 แบบไม่ได้ให้ผลการลดความขุ่นที่แตกต่างกัน ดังนั้นสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามทั้ง 4 แบบสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดที่มีประสิทธิภาพที่ดีเท่าเทียมกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงความสะดวกในการเตรียมแล้ว สารละลายผงแป้งเมล็ดอบ 2 จะมีความเหมาะสมในการนำมาใช้มากที่สุด เนื่องจากมีวิธีการเตรียมผงแป้งและสารละลายซึ่งสามารถทำได้สะดวกกว่า

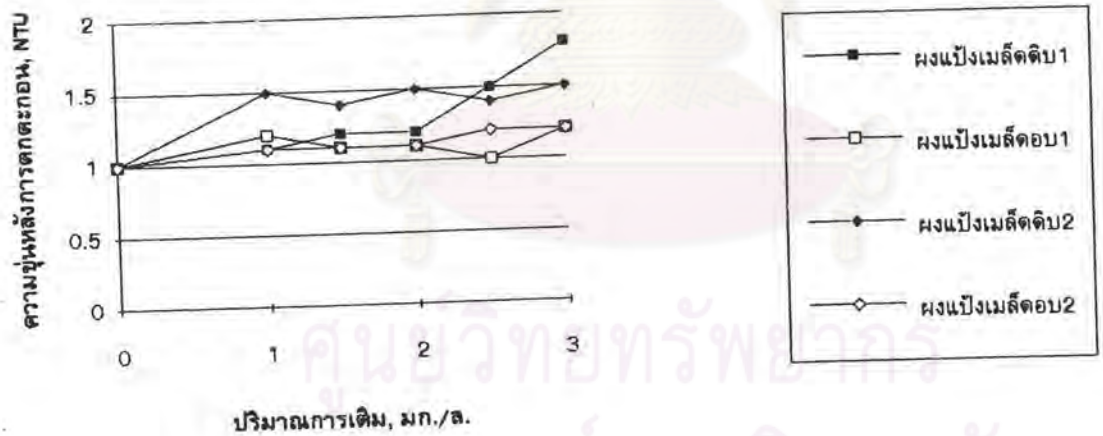
การนำไปใช้งานสำหรับน้ำดิบที่มีความขุ่นต่ำ การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดก็จะไม่ได้ลดค่าความขุ่นที่เหลือให้ต่ำกว่าการใช้สารส้มเพียงลำพัง แต่จะทำให้ฟล็อกที่เกิดมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เร็ว ส่วนในกรณีที่น้ำดิบมีความขุ่นสูงการใช้โคแอกกูแลนต์เอดน่าจะสามารถลดความขุ่นของน้ำที่เหลือลงได้ เนื่องจากการช่วยเพิ่มความสามารถในการตกตะกอนของฟล็อก ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริงควรดูวัตถุประสงค์ในการใช้ให้ชัดเจนด้วย



ก) น้ำดิบความขุ่น 23 NTU



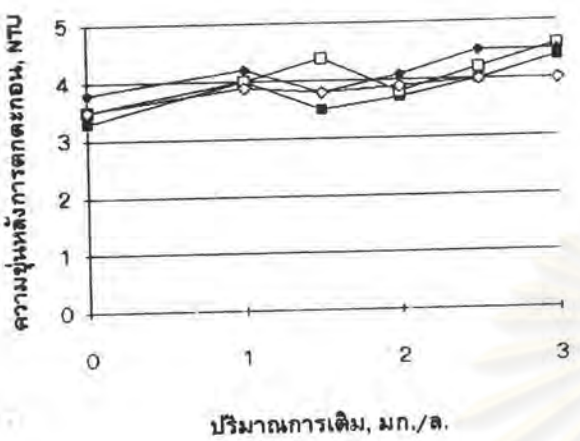
ข) น้ำดิบความขุ่น 41 NTU



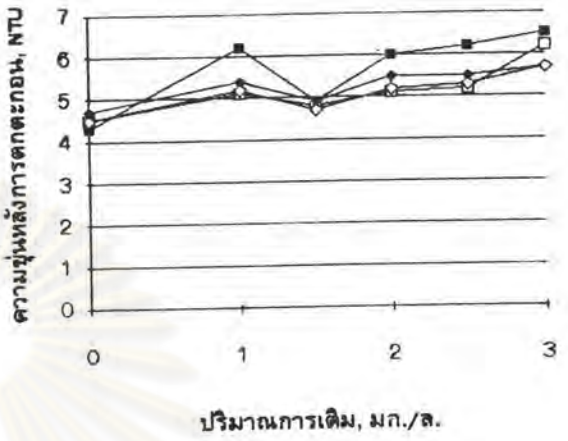
ค) น้ำดิบความขุ่น 40 NTU

รูปที่ 5.32 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบจากคลองประปา เมื่อใช้เมล็ดมะขาม เป็นโคแอกกูแลนท์เอดร่วมกับสารส้มที่ 50 %ของปริมาณที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) น้ำดิบความขุ่น 23 NTU



ข) น้ำดิบความขุ่น 41 NTU

ค) น้ำดิบความขุ่น 40 NTU

รูปที่ 5.33 ค่าความขุ่นหลังการตกตะกอนของน้ำดิบจากคลองประปา เมื่อใช้เมล็ดมะขาม เป็นโคแอกกูแลนท์เอดร่วมกับสารส้มที่ 25 %ของปริมาณที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5 การประเมินค่าใช้จ่ายในการใช้โคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขาม

การประเมินต้นทุนในการผลิตน้ำประปาจะคิดจากค่าใช้จ่ายต่างๆหลายด้าน เช่น

- ค่าสารเคมีที่ใช้ในการปรุงแต่งคุณภาพน้ำดิบ(chemicals) ได้แก่ โคแอกกูแลนต์, โคแอกกูแลนต์เอด,สารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคและสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพพีเอช
- ค่าพลังงาน ได้แก่ ค่าไฟฟ้า
- ค่าบำรุงรักษาและซ่อมแซมระบบ (operation & maintenance)

ในการประเมินค่าใช้จ่ายในครั้งนี้จะคิดเฉพาะค่าใช้จ่ายในส่วนของโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอด คือ สารส้มและสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขาม เท่านั้น

เมล็ดมะขามดิบจะมีขายตลอดปีที่ปากคลองตลาดราคากิโลกรัมละ 2-5 บาท ซึ่งราคาที่ขายนี้จะขึ้นอยู่กับฤดูกาล ปกติมะขามจะมีฝักแก่ในราวปลายเดือนมกราคมถึงต้นเดือนมีนาคม จึงทำให้เมล็ดมะขามในช่วงเวลาดังกล่าวมีราคาถูกคือประมาณกิโลกรัมละ 2 บาท เมล็ดมะขามที่มีมากมายในช่วงเวลาดังกล่าวนี้จะถูกเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นในปริมาณที่คาดว่าจะขายได้ในแต่ละปี จากนั้นจึงทำการทยอยเอาออกมาขาย ทำให้เมล็ดมะขามมีจำหน่ายอยู่ตลอดทั้งปี แต่ราคานอกฤดูกาลจะสูงขึ้นเนื่องจากผู้ขายจะบวกรวมเอาค่าเก็บรักษาไว้ในราคาขายด้วย ราคาทั่วไปจึงประมาณกิโลกรัมละ 4 บาท

ราคาของผงแป้งเมล็ดมะขามจะคิดจากราคาของเมล็ดดิบที่กิโลกรัมละ 4 บาท เมล็ดมะขามที่ซื้อมานั้นจะต้องทำความสะอาดและเลือกเอาเมล็ดที่เสียไปก่อน ซึ่งจะได้เมล็ดที่มีความสมบูรณ์ประมาณร้อยละ 85 หลังจากนั้นจึงทำการแยกเอาเปลือกเมล็ดออกทิ้งไป เมล็ดมะขามจะประกอบด้วยส่วนเนื้อเมล็ดและเปลือกเมล็ดคิดเป็นร้อยละ 65 และ 35 ตามลำดับ ดังนั้นจึงคิดผงแป้งเมล็ดมะขามในราคา 10 บาท/กก. [คิดจาก 4/(0.85x0.65)]

ในการเตรียมให้ผงแป้งเมล็ดมะขามให้เป็นสารละลายโดยวิธีที่ 1 จะต้องใช้โซดาแอช($NaCO_3$) ในอัตราส่วน 1:9 ถ้าคิดราคาโซดาแอชในราคากิโลกรัมละ 35 บาท ราคาสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามแบบที่ 1 จะเท่ากับ 14 บาท/กก.[คิดจาก 10+(35/9)] สำหรับการเตรียมผงแป้งเมล็ดมะขามให้เป็นสารละลายโดยวิธีที่ 2 จะต้องใช้โซดาไฟ(NaOH)ในอัตราส่วน 1:8.5 ถ้าคิดราคาโซดาไฟในราคากิโลกรัมละ 25 บาท ราคาสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามแบบที่ 2 จะเท่ากับ 13 บาท/กก. [คิดจาก 10+(25/8.5)] ในการประเมินค่าสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามจะคิดในราคาเดียวคือ 15 บาท/กก. ส่วนสารส้มจะคิดในราคา 6 บาท/กก.

จากผลการทดลองพบว่า การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เพียงลำพังนั้นไม่สามารถลดค่าความขุ่นของน้ำหลังการตกตะกอนให้มีคุณภาพที่ดีได้ และมีปริมาณการใช้ที่ค่อนข้างสูงคือ 5-10 มก./ล. ดังนั้นในการนำมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์จึงไม่เหมาะสม ในการประเมินค่าใช้จ่ายจึงคิดเฉพาะในกรณีที่ใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดเท่านั้น จากการผลการทดลองการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดพบว่าปริมาณการเติมที่เหมาะสมนั้นจะมีค่า 1-3 มก./ล. ส่วนใหญ่จะใช้ในปริมาณ 2 มก./ล. ซึ่งคิดเป็นค่าโคแอกกูแลนต์เอด 0.03 บาท/ลบ.ม. คิดเป็นราคาเทียบเท่ากับการใช้สารส้มในปริมาณ 5 มก./ล. แสดงว่า หากการใช้โคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขามสามารถลดปริมาณการใช้สารส้มลงได้มากกว่า 5 มก./ล. ก็จะเป็นการคุ้มทุนในค่าโคแอกกูแลนต์เอดได้ แต่ในการนำไปใช้งานนั้นอาจต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในส่วนอื่นๆประกอบด้วยเช่น ค่าอุปกรณ์ในการจ่ายสารเคมี เป็นต้น การใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มปริมาณต่างๆมีค่าใช้จ่ายแสดงในตารางที่ 5.15

การเปรียบเทียบกรณีที่มีการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวและมีการใช้โคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขามร่วมกับสารส้มที่ร้อยละ 50 และ 25 ของปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่าการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดจะเพิ่มความสามารถในการตกตะกอน ซึ่งช่วยอาจลดปริมาณการเติมสารส้มลงได้ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าการใช้โคแอกกูแลนต์เอดกับน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงจะสามารถลดความขุ่นหลังการตกตะกอนได้ต่ำกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวได้ และในกรณีที่ใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดแทนการใช้โพลีอิเลคโทรไลต์สังเคราะห์ที่มีราคาแพง ก็น่าจะสามารถลดค่าสารเคมีลงได้เช่นกัน

การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอด นอกจากจะพิจารณาในด้านที่ช่วยลดค่าสารเคมีแล้ว ยังอาจดูในแง่ที่ว่า การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดจะทำให้ฟล็อกที่ได้มีขนาดใหญ่ และสามารถตกตะกอนได้เร็ว ซึ่งน่าที่จะเกี่ยวข้องกับถังตกตะกอนด้วย เพราะการใช้โคแอกกูแลนต์เอดจะเกิดฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ทำให้สามารถเพิ่มอัตราการตกตะกอน จึงน่าจะทำให้สามารถเพิ่มอัตราการผลิตน้ำหรือเพิ่มอัตราการตกตะกอนในการออกแบบได้ นอกจากนี้การใช้โคแอกกูแลนต์เอดเพื่อช่วยในการตกตะกอนนั้นจะทำให้ความขุ่นที่หลุดไปจากถังตกตะกอนมีค่าลดลง จึงน่าที่จะสามารถลดภาระของถังกรองทำให้สูญเสียน้ำในการล้างย้อนน้อยลงด้วย

ตารางที่ 5.15 ค่าสารเคมีเปรียบเทียบเมื่อใช้สารส้มอย่างเดียวและใช้โคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขาม

เติมสารส้มอย่างเดียวที่ปริมาณที่เหมาะสม			เติมสารส้มที่ 50 % ของปริมาณที่เหมาะสม และโคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขาม			เติมสารส้มที่ 25 % ของปริมาณที่เหมาะสม และโคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขาม		
ปริมาณการเติม, มก./ล.		ค่าสารเคมี บาท/ลบ.ม.	ปริมาณการเติม, มก./ล.		ค่าสารเคมี บาท/ลบ.ม.	ปริมาณการเติม, มก./ล.		ค่าสารเคมี บาท/ลบ.ม.
สารส้ม	โคแอกกูแลนต์เอด		สารส้ม	โคแอกกูแลนต์เอด		สารส้ม	โคแอกกูแลนต์เอด	
20	0	0.12	10	2	0.09	5	2	0.06
30	0	0.18	15	2	0.12	7.5	2	0.08
40	0	0.24	20	2	0.15	10	2	0.09
50	0	0.30	25	2	0.18	12.5	2	0.11
60	0	0.36	30	2	0.21	15	2	0.12
70	0	0.42	35	2	0.24	17.5	2	0.14
80	0	0.48	40	2	0.27	20	2	0.15
90	0	0.54	45	2	0.30	22.5	2	0.17
100	0	0.60	50	2	0.33	25	2	0.18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.6 การนำไปประยุกต์ใช้ในงานผลิตน้ำประปา

จากผลการทดลองการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดนั้น จะสามารถใช้ได้ดีกับน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงตั้งแต่ 100 NTU ขึ้นไป ดังนั้นผลจากการวิจัยในครั้งนี้น่าจะนำไปประยุกต์ใช้กับแหล่งน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงได้ โดยในการนำไปใช้นั้นจะต้องมีการทดลองหาปริมาณการเติมสารส้มและสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามที่เหมาะสมเสียก่อน

จากข้อมูลของการประปาส่วนภูมิภาค(28)พบว่าในช่วงฤดูฝน (ก.ค.-ก.ย.) แหล่งน้ำดิบที่จะนำมาผลิตน้ำประปานั้นจะมีความขุ่นสูงขึ้นมากกว่าปกติ ในแม่น้ำบางสายเช่น แม่น้ำโขง ซึ่งปกติจะมีความขุ่นประมาณ 100-200 NTU ในช่วงฤดูฝนจะมีความขุ่นเพิ่มเป็น 300-500 NTU และในบางครั้งอาจสูงถึง 900 NTU ส่วนข้อมูลน้ำดิบของการประปานครหลวง(29,30) มีรายงานการเพิ่มค่าความขุ่นในฤดูน้ำหลาก(ส.ค.-ต.ค.)เช่นกันโดยความขุ่นจะเพิ่มสูงขึ้นจาก 20-60 NTU เป็น 100-300 NTU

การประปานครหลวงจะมีการใช้โพลีอิเลคโทรไลต์ในการผลิตน้ำประปาโดยที่โรงผลิตน้ำบางเขนโดยมีการใช้ทั้งโพลีอิเลคโทรไลต์ประจุบวกและประจุลบ ส่วนที่โรงผลิตน้ำสามเสน-ธนบุรีจะมีการใช้โพลีอิเลคโทรไลต์ประจุบวก จากรายงานอัตราการใช้สารเคมีของโรงผลิตน้ำสามเสน-ธนบุรี(30)พบว่ามีการใช้โพลีอิเลคโทรไลต์ประจุบวกร่วมกับการใช้สารส้มเกือบตลอดทั้งปีโดยเฉพาะในฤดูฝน ซึ่งเหตุผลในการเติมเนื่องจากต้องการเพิ่มอัตราการผลิตน้ำให้มากขึ้น การใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวจะมีเครื่องสูบจ่ายสารเคมีไม่พอเพียง และปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นมีมากเกินจนไม่สามารถตกตะกอนได้ในถังตกตะกอน ปริมาณการใช้สารส้มในช่วงปกติมีค่า 20-30 มก./ล. และในช่วงที่มีความขุ่นสูงจะใช้สารส้ม 45-60 มก./ล.ร่วมกับการใช้โพลีอิเลคโทรไลต์ประจุบวกประมาณ 0.4 มก./ล. ซึ่งในกรณีนี้น่าจะทดลองใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดใช้แทนโพลีอิเลคโทรไลต์ เนื่องจากในกรณีที่น้ำดิบมีความขุ่นสูงซึ่งต้องการการใช้สารส้มในปริมาณที่มากๆ ปริมาณฟล็อกที่เกิดขึ้นไม่สามารถตกตะกอนได้ทันในถังตกตะกอน การใช้โคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขามจะทำให้ฟล็อกมีขนาดใหญ่สามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้น คุณภาพของน้ำหลังการตกตะกอนจะดีขึ้นทำให้สามารถลดภาระของถังกรองได้

การใช้โพลีอิเลคโทรไลต์สังเคราะห์นั้น นอกจากจะมีราคาที่แพงแล้วยังอาจมีอันตรายอีกด้วย จึงควรที่จะหันมาสนใจการใช้โพลีอิเลคโทรไลต์จากวัสดุธรรมชาติแทน โพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามเป็นแหล่งโพลีอิเลคโทรไลต์ที่สนใจที่จะนำมาใช้ได้ เนื่องจากเมล็ดมะขามจัดเป็นวัสดุเหลือใช้ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากผลิตผลทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและยังไม่ค่อยมีการใช้ประโยชน์กันมากนัก ปริมาณการผลิตมะขามในแต่ละปีจะมีถึงประมาณแสนตันและมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีเมล็ดมะขามซึ่งเป็นผลพลอยได้ถึงประมาณปีละสามหมื่นตัน เมล็ดมะขามเป็นแหล่งโพลีอิเลคโทรไลต์จึงเป็นแหล่งวัตถุดิบที่น่าสนใจจะนำมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดแทนการใช้โพลีอิเลคโทรไลต์สังเคราะห์ได้ การใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอดมีข้อดีข้อเสียดังตารางที่ 5.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.16 ข้อดีข้อเสียของการใช้โคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดมะขาม

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ราคาถูก หาง่าย เป็นวัสดุที่มีอยู่ในประเทศ	1. ไม่สามารถควบคุมองค์ประกอบของสารในเมล็ดให้คงที่ได้
2. เป็นการนำเอาวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์	2. ผงแป้งเมล็ดมะขามจะไม่สามารถเก็บไว้ได้นานกว่า 3 เดือน [26]
3. มีความปลอดภัยเนื่องจากเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ	3. เมื่อเตรียมเป็นสารละลายแล้วจะมีอายุการเก็บไม่นาน
4. สามารถใช้แทนโพลีอิเลคโตรไลท์สังเคราะห์	ต้องใช้ภายใน 1 - 2 วัน
เป็นการลดค่าสารเคมีในการผลิตน้ำประปา	
5. สามารถใช้กับน้ำดิบที่มีความขุ่นสูง ๆ ได้ดี	
6. ช่วยให้ฟล็อคที่ได้มีขนาดใหญ่สามารถตกตะกอนได้ง่าย	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย