บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

การเตรียมโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะรุม

1. การเตรียมผงเมล็ดมะรุม

การเตรียมผงเมล็ดมะรุมทำได้โดยแกะเปลือกแข็งสีดำออกจะได้เนื้อเมล็ดซึ่งมีสีขาวนวล นำเนื้อเมล็ดที่แกะได้ไปบดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า จนได้เป็นผงของเมล็ดมะรุม ลักษณะของเมล็ดมะรุมและผงเมล็ดมะรุมแสดงในรูปที่ 4 - 1

ในการบดเมล็ดมะรุมพบว่ามีความยุ่งยากเล็กน้อยคือ เนื้อเมล็ดมะรุมที่บดแล้วมีลักษณะเปียกชื้น และเกาะติดกันแน่นเป็นแผ่นอยู่บริเวณส่วนล่างของเครื่องบดไฟฟ้า ทำให้บดให้ละเอียดได้ยาก สาเหตุอาจจะมาจากความชื้นหรือไขมันในเมล็ดมะรุม

การเก็บรักษาผงเมล็ดมะรุมไม่มีการใส่สารกันบูด ทั้งนี้เนื่องจากในเมล็ดมะรุมมีสารที่มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียและรา คือ 4-(α -L-rhamnosyloxy) benzyl isothiocyanate (Wein และคณะ ,1961) ดังนั้นการเก็บจึงสามารถเก็บไว้ในที่ที่ปราศจากความชื้นได้โดยไม่ต้องเติมสารใด ๆ

2. องค์ประกอบทางเคมีของผงเมล็ดมะรุม

ผงเมล็ดมะรุมได้ถูกส่งไปวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆคือ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต โดยวิธีที่ใช้วิเคราะห์เป็นไปตามวิธีของ AOAC (1970)ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4 - 1 และรูปที่ 4 - 2 จากผลการวิเคราะห์พบว่าองค์ประกอบที่มีมากที่สุดคือโปรตีนและไขมัน โดยมีโปรตีนประมาณ 36 - 38 % และมีไขมันประมาณ 34 % รองลงมาเป็นคาร์โบไฮเดรต ปริมาณความชื้น เถ้า และเส้นใยตามลำดับ โดยเปอร์เซนต์ของคาร์โบไฮเดรตได้ตามวิธีของ AOAC นี้ใช้วิธีการคำนวณ โดยการรวมเปอร์เซนต์ขององค์ประกอบ

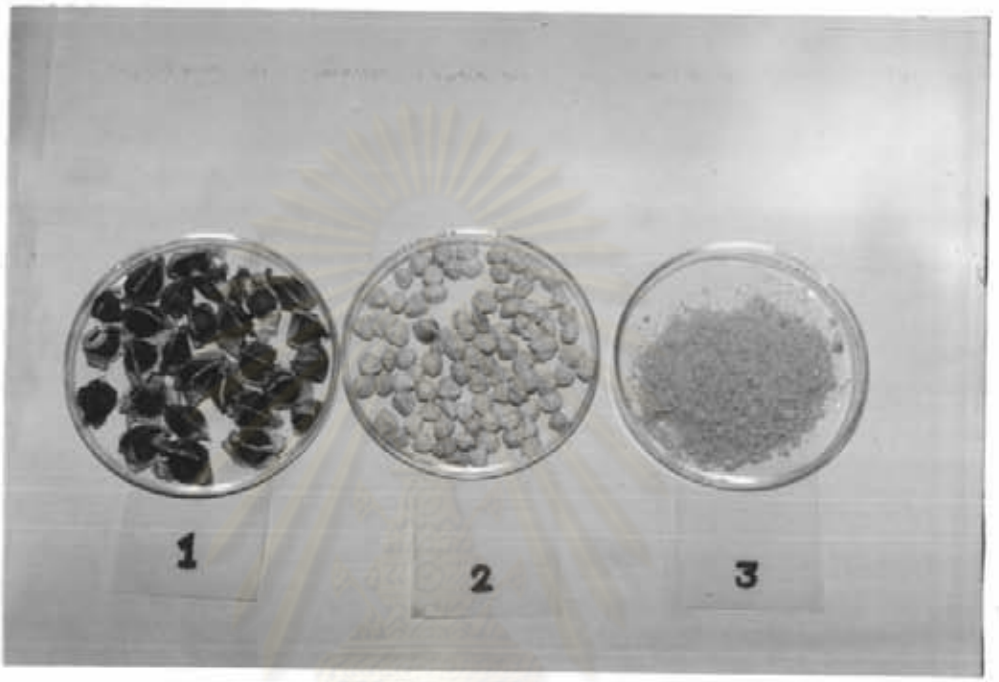
c:\thesis\table\compound.wk1

ตารางที่ 4–1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมะรุม

องค์ประกอบทางเคมี	% ขององค์ประกอบ					
	ม. เกษตรศาสตร์			กรมวิทยาศาสตร์บริการ		
	อายุของผงเมล็ดมะรุม			อายุของผงเมล็ดมะรุม		
	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	0 เดือน	1 เดือน	2 เดือน
ความชื้น	6.68	6.94	6.7	6.61	6.92	6.62
โปรตีน	36.62	37.68	37.51	38	37.4	37.2
ไขมัน	34.01	34.63	34.22	34.3	33.9	34
เถ้า	3.89	4.03	3.93	3.95	3.87	3.94
เส้นใย	3.75	2.27	6.67	– *	3.58	3.35
คาร์โบไฮเดรต (by difference)	15.05	14.45	10.97	– *	14.33	14.89
รวม	100	100	100	– *	100	100

หมายเหตุ : * หมายถึง ค่าที่ได้ผิดปกติ จึงตัดทิ้ง

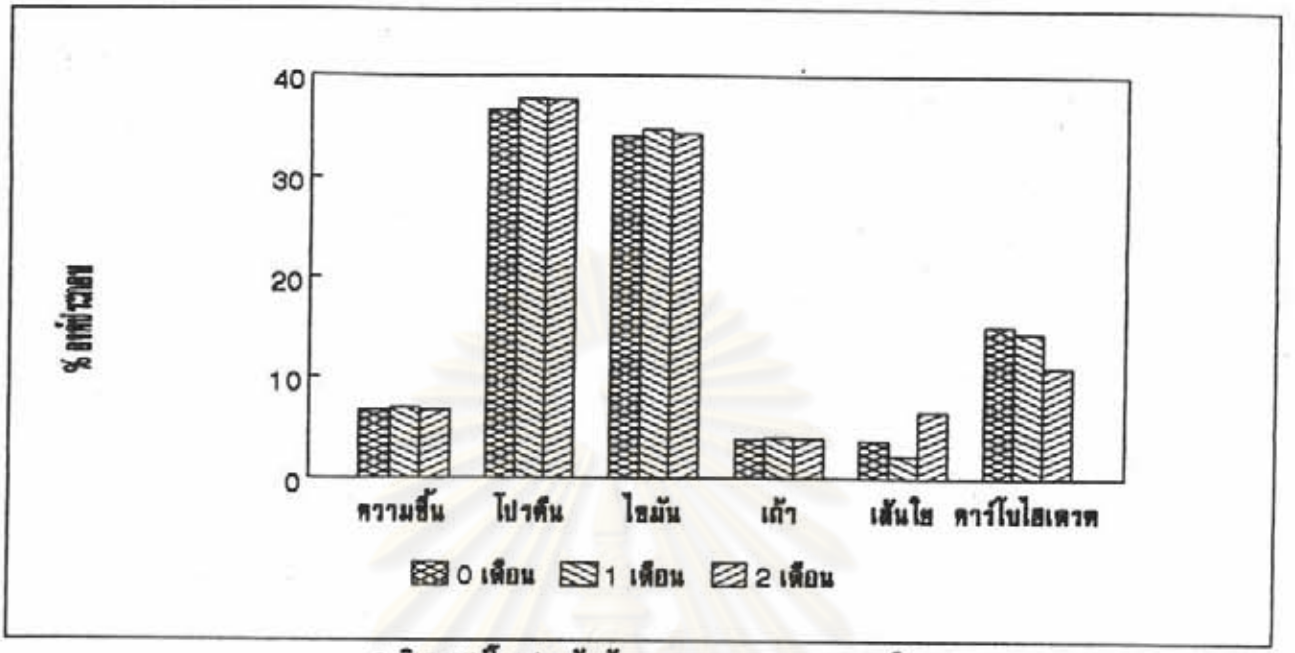
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



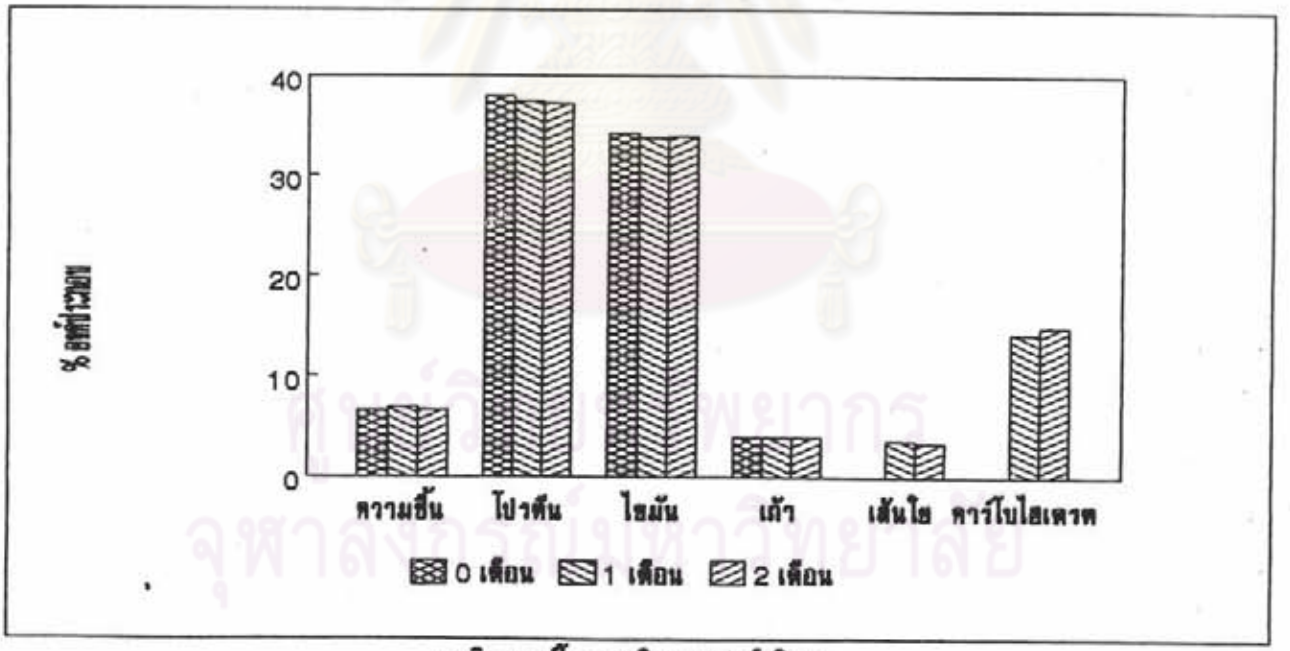
รูปที่ 4-1 ลักษณะของเมล็ดมะรุม 1).เมื่อไม่แกะเปลือก 2).เนื้อเมล็ดมะรุม 3).ผงเมล็ดมะรุม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

c:\thesis\table\compound.wk1



ก. วิเคราะห์โดยสถาบันพัฒนาอาหาร ม.เกษตรศาสตร์



ข. วิเคราะห์โดยกองวิทยาศาสตร์บริการ

รูปที่ 4-2 องค์ประกอบทางเคมีของแมลงวันหนอนที่อายุ 0, 1 และ 2 เดือน

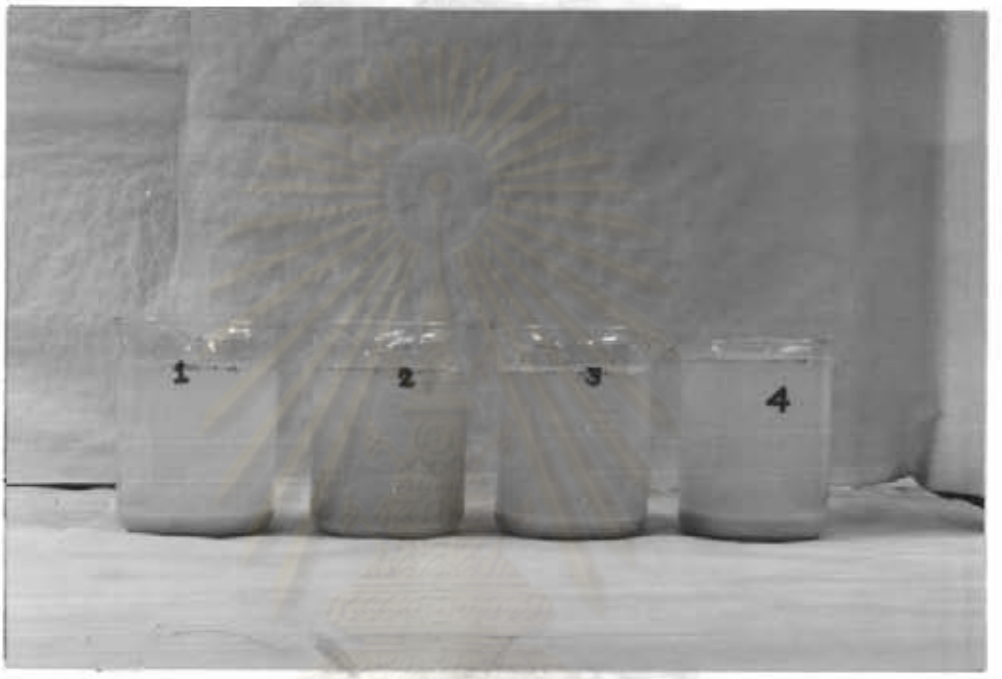
ประกอบทางเคมีตัวอื่น ๆ แล้วนำไปหักออกจากร้อยเปอร์เซนต์ ผลต่างคือค่าของคาร์โบไฮเดรต แต่ในความเป็นจริงแล้วอาจจะมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ได้วิเคราะห์รวมอยู่ด้วย

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณไขมันและปริมาณความชื้นที่ได้จากการวิเคราะห์ สามารถบอกได้ว่าการที่เนื้อเมล็ดมะรุมเกิดการเกาะติดแน่นขณะที่บดให้เป็นผงน่าจะมีสาเหตุมาจากปริมาณไขมันที่มีมากถึง 34% มากกว่าที่จะเกิดจากความชื้นในเนื้อเมล็ดที่มีอยู่เพียง 6 - 7 % เท่านั้น

เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์ของผงเมล็ดมะรุมที่มีอายุ 0 ,1 และ 2 เดือน พบว่าค่าที่ได้ในแต่ละเดือนใกล้เคียงกัน มีเพียงเส้นใยและคาร์โบไฮเดรตเท่านั้นที่พบว่าค่าในแต่ละเดือนแตกต่างกันอย่างชัดเจนและเมื่อพิจารณาถึงผลการวิเคราะห์จากทั้ง 2 สถาบันเมื่อใช้ผงเมล็ดมะรุมที่มีอายุเท่ากัน พบว่าค่าที่ได้ก็มีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นสาเหตุน่าจะมาจากวิธีการในการวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยนั้นมีความคลาดเคลื่อนได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อมีปริมาณต่ำ ๆ ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตนั้นได้จากการคำนวณ เมื่อมีองค์ประกอบตัวหนึ่งตัวใดคลาดเคลื่อน ก็จะทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ได้คลาดเคลื่อนตามไปด้วย

3. การเตรียมสารแขวนลอยจากผงเมล็ดมะรุม

ผงเมล็ดมะรุมไม่สามารถละลายได้หมดในตัวทำละลาย ดังนั้นสารที่ได้จึงมีลักษณะเป็นสารแขวนลอย การเลือกชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ใช้เลียนแบบวิธีการสกัดโปรตีนออกจากพืชจำพวกถั่ว (อรอนงค์ และคณะ , 2531) โดยตัวทำละลายที่เลือกมี 4 ชนิดคือ น้ำ กรดไฮโดรคลอริก 0.05 นอร์มอล โซเดียมคาร์บอเนต 0.05 นอร์มอล และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 นอร์มอล การเตรียมสารแขวนลอยนั้นได้เตรียมให้มีความเข้มข้น 2 % สารแขวนลอยที่เตรียมได้จากตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด แสดงในรูปที่ 4 - 3 และรูปที่ 4 - 4 จากรูปจะพบว่าสารแขวนลอยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง ส่วนบนจะเป็นส่วนของผงเมล็ดมะรุมที่มีน้ำหนักเบาลอยตัวอยู่ ส่วนกลางเป็นส่วนของผงเมล็ดมะรุมที่ละลายในตัวทำละลาย และส่วนล่างเป็นส่วนที่มีการตกตะกอนของผงเมล็ดมะรุมที่ไม่ละลาย เมื่อพิจารณาสารแขวนลอยจากผงเมล็ดมะรุมพบว่า ผงเมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกมีลักษณะที่แตกต่างจากผงเมล็ดมะรุมในตัวทำละลายอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด คือ สารละลายในส่วนกลางนั้นมีสีเหลือง ในขณะที่เมื่อใช้ตัวทำละลายชนิดอื่น ๆ จะมีสีออกขาวขุ่น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาในส่วนที่เป็นตะกอนด้านล่างพบว่า มีส่วนที่เป็นตะกอนน้อยกว่าเมื่อใช้ตัวทำละลายอีก 3 ชนิด จึงอาจจะเป็นไปได้ว่ากรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุด ทั้งนี้ต้องพิจารณาเปรียบเทียบกับผลจากการหาประสิทธิภาพในการเป็น

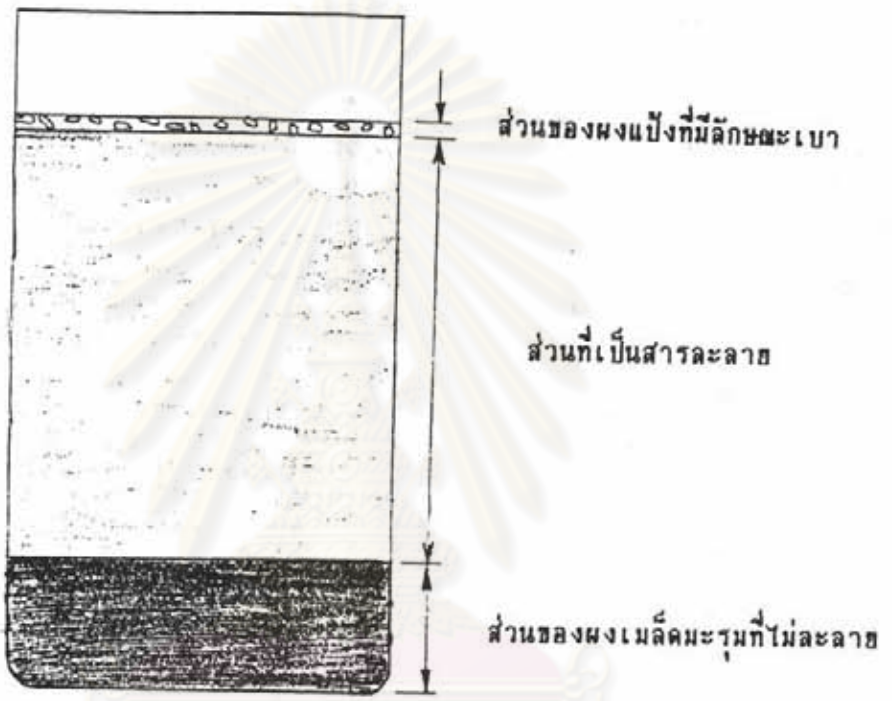


รูปที่ 4-3 สารแขวนลอยที่ได้จากการละลายเมล็ดมะรุมในตัวทำละลายต่าง ๆ

1). เมล็ดมะรุมในน้ำ 2). เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริก

3). เมล็ดมะรุมในโซดาร์บอเนต 4). เมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-4 ลักษณะของสารแขวนลอยจากผงเมล็ดมะรุม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โคแอกกูแลนต์ หรือโคแอกกูแลนต์เอด ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อ 4 3 สารแขวนลอย 2 % ที่เตรียมจากเมล็ดมะรุมในตัวทำละลายต่าง ๆ มีค่าพีเอชแตกต่างกันดังนี้

เมล็ดมะรุมในน้ำ	พีเอช 6.73
เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริก	" 1.68
เมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต	" 10.59
เมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์	" 12.18

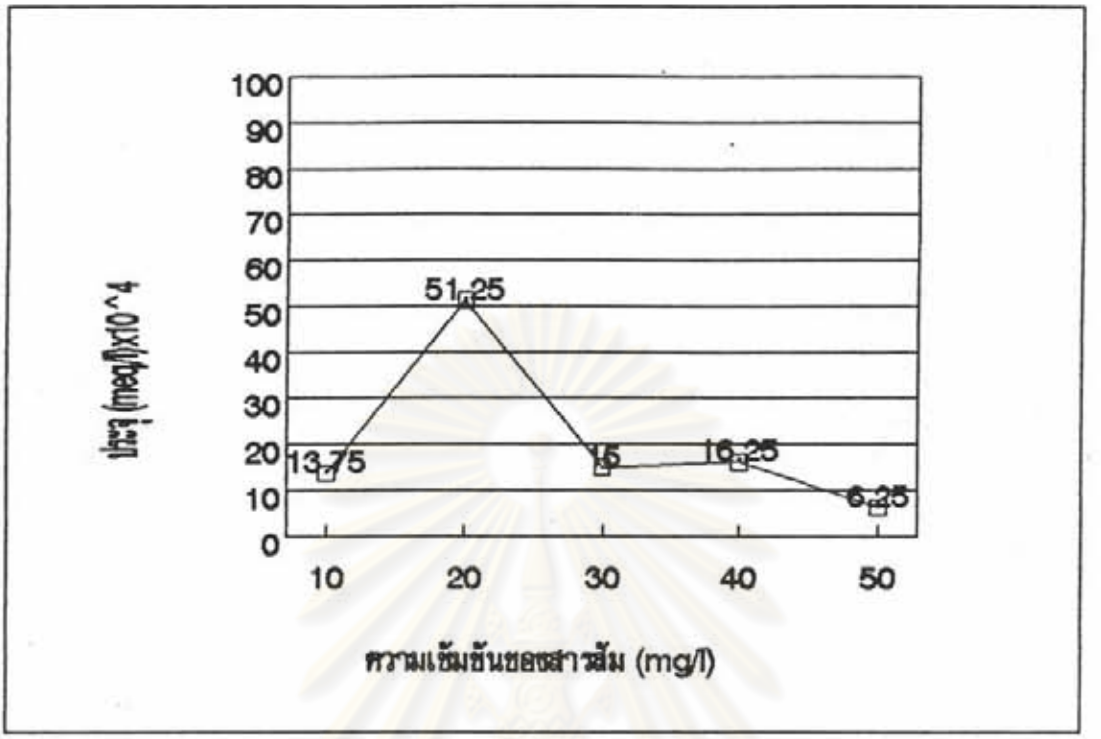
เนื่องจากสารแขวนลอยที่เตรียมตกตะกอนได้โดยง่าย ดังนั้นในการที่จะนำสารแขวนลอยนี้ไปใช้ควรคนให้ทั่วก่อนทุกครั้ง

การวัดประจุของโคแอกกูแลนต์

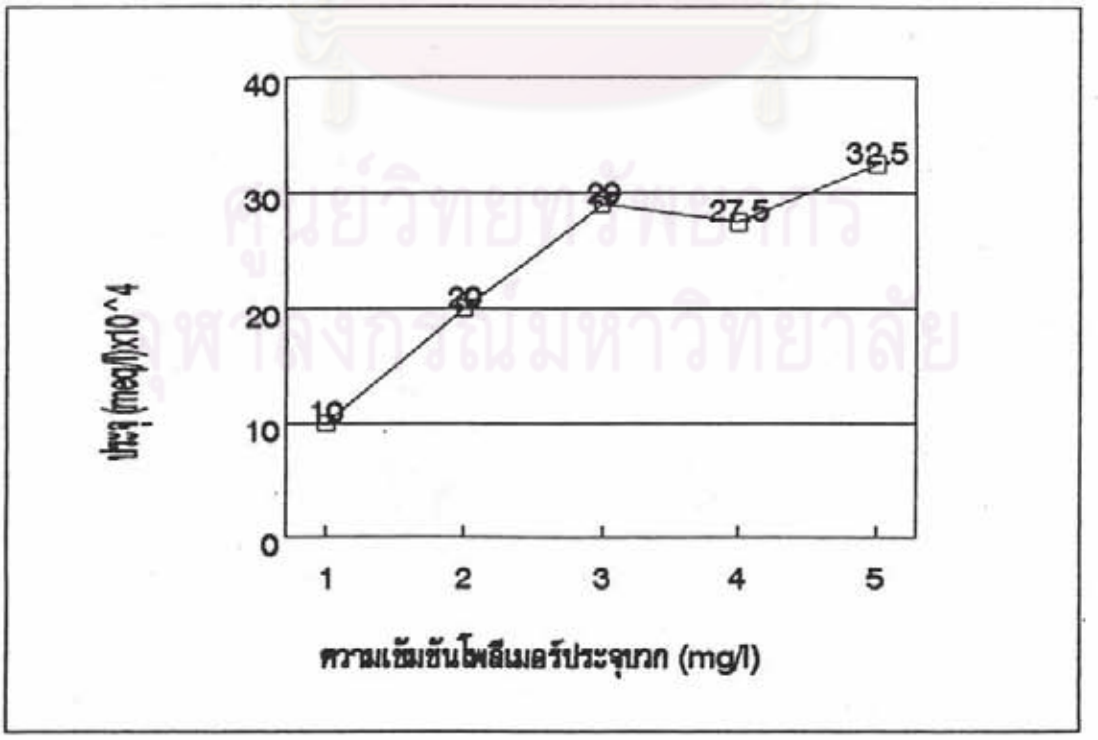
เมื่อทำการวัดประจุของสารส้ม ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4 - 5 ซึ่งพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารส้มมากขึ้น ประจุบวกจะเพิ่มมากขึ้นด้วย จนความเข้มข้นเป็น 20 มก./ล หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นค่าประจุบวกจะลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะในช่วงแรกการเติมสารส้มนั้นทำให้ Al^{3+} มีปริมาณมากขึ้นถึงแม้ว่าจะมีการตกผลึกของ $Al(OH)_3$ ซึ่งไม่มีประจุแต่ปริมาณโดยรวมของ Al^{3+} ยังคงเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารส้มมากกว่า 20 มก./ล ทำให้การตกผลึกของ $Al(OH)_3$ มีมากขึ้น จนทำให้มีค่า Al^{3+} ตกค้างอยู่น้อยลง จึงมีผลทำให้ค่าประจุบวกที่วัดได้มีค่าลดลง

ในการทดลองหาประจุของโพลีเมอร์ประจุบวกนั้นใช้โพลีเมอร์ที่มีชื่อว่า NALCO 9904 ผลที่ได้จากการทดลองแสดงในรูปที่ 4 - 6 ซึ่งเป็นการหาประจุของ NALCO 9904 ที่พีเอช 7 พบว่าความเข้มข้นของโพลีเมอร์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าประจุบวกที่ได้ และในการหาประจุของโพลีเมอร์ประจุลบใช้โพลีเมอร์ที่ชื่อ NALCO AP130 ผลการหาประจุของโพลีเมอร์ประจุลบนี้ที่พีเอช 7 แสดงในรูปที่ 4 - 7 เมื่อพิจารณาผลพบว่าความเข้มข้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าประจุลบเช่นเดียวกัน คือ ประจุลบจะมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบเพิ่มมากขึ้น

สุชาติ (2526) ได้ทำการทดลองถึงอิทธิพลของพีเอชที่มีต่อประจุของสารส้ม โพลีเมอร์ประจุบวก และโพลีเมอร์ประจุลบ พบว่าสารส้มและโพลีเมอร์ประจุบวกให้ผลที่เหมือนกัน คือ เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นค่าประจุบวกจะลดลง ส่วนในกรณีของโพลีเมอร์ประจุลบนั้นพบว่า ประจุลบจะน้อยที่พีเอชต่ำ และเพิ่มมากขึ้นเมื่อพีเอชสูงขึ้น

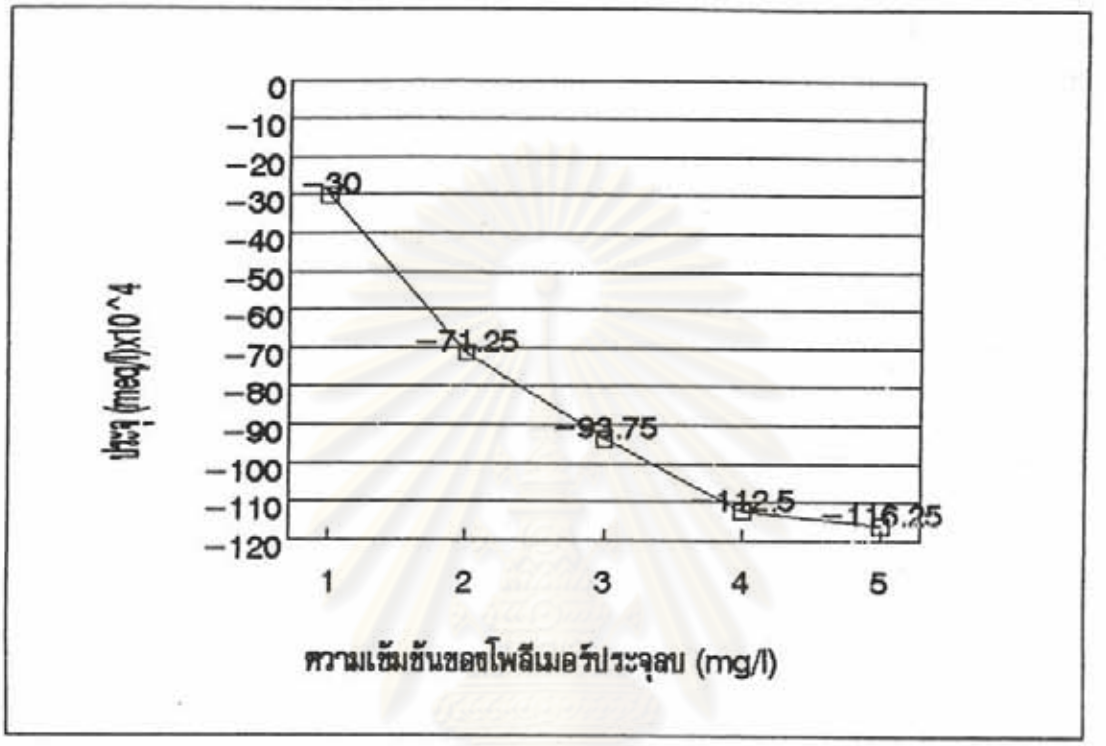


รูปที่ 4–5 ประจุของสารส้มที่พีเอช 7



รูปที่ 4–6 ประจุของ NALCO 9904 (โพลีเมอร์ประจุบวก) ที่พีเอช 7

c:\thesis\table\charge.wk1



รูปที่ 4-7 ประจุของ NALCO AP130 (โพลีเมอร์ประจุลบ) ที่พีเอช 7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อทำการทดลองหาประจุของเมล็ดมะรุมในตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิดที่พีเอช 5 , 7 และ 9 ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4 - 2 และรูปที่ 4 - 8 จากผลการทดลองพบว่าที่พีเอช 5 เมล็ดมะรุมในตัวทำละลายทุกชนิดให้ค่าประจุเป็นบวก โดยค่าประจุของเมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริก เมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต และเมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่ามากกว่าประจุของเมล็ดมะรุมในน้ำ สำหรับที่พีเอช 7 และ 9 นั้นจะเห็นได้ชัดว่าเมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนตมีประจุบวกมากที่สุด รองลงมาจะเป็นเมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริก และเมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีค่าประจุใกล้เคียงกัน โดยที่พีเอช 7 เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกจะมีประจุสูงกว่า แต่ที่พีเอช 9 เมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มที่มีประจุบวกมากกว่าเมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริก ส่วนเมล็ดมะรุมในน้ำนั้นมีค่าประจุน้อยที่สุด

จากรูปที่ 4 - 9 สามารถพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมล็ดมะรุมกับค่าประจุที่ได้พบว่า เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริก เมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต ให้ความสัมพันธ์ที่คล้ายกันคือ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นค่าประจุบวกจะเพิ่มขึ้นที่พีเอชทั้ง 3 ค่า สำหรับเมล็ดมะรุมในน้ำพบว่าที่พีเอช 5 และ 7 ประจุบวกเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แต่ที่พีเอช 9 นั้นวัดค่าประจุได้เป็นลบ และประจุลบเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

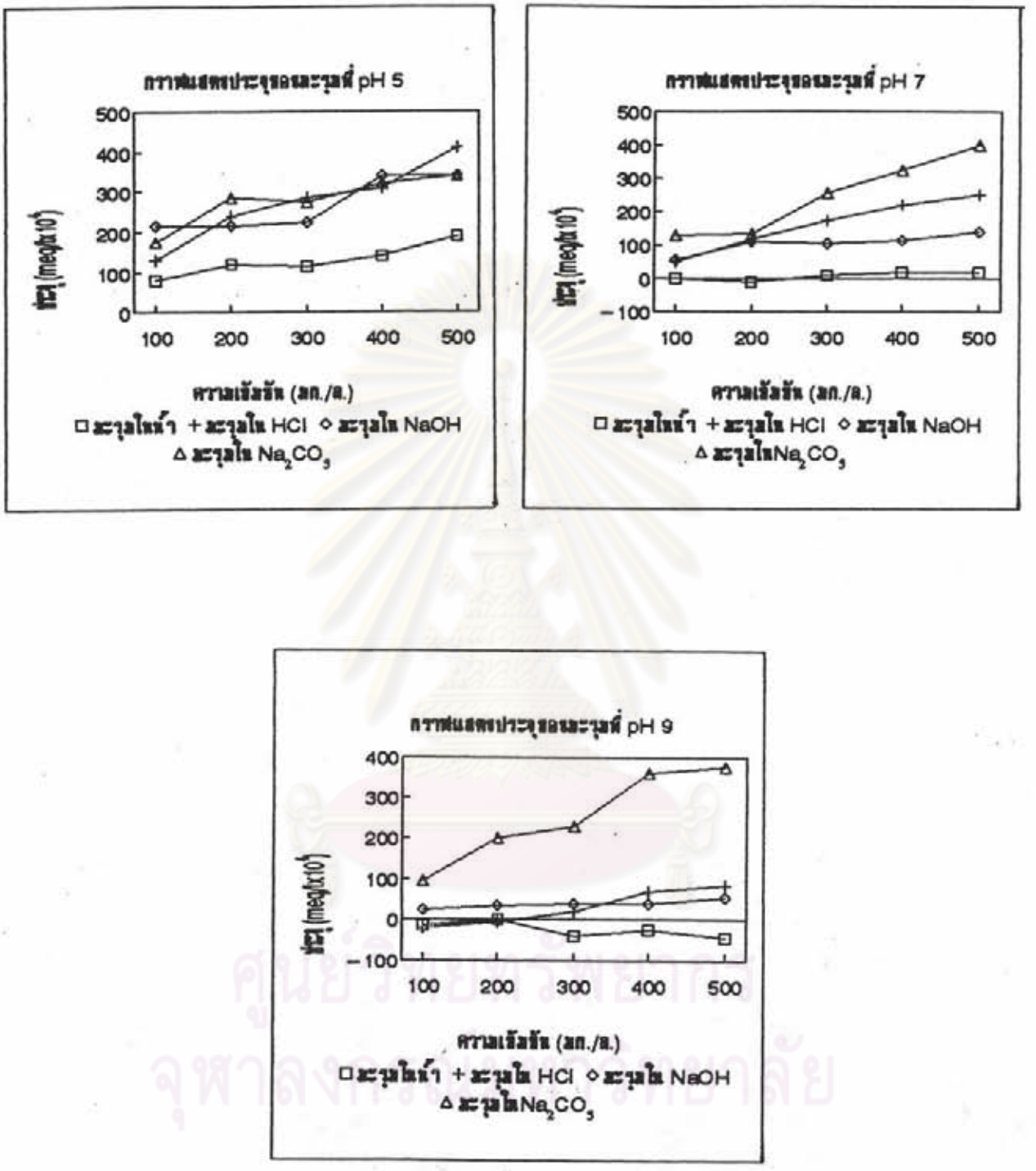
จากรูปที่ 4 - 10 เห็นว่าค่าประจุบวกของเมล็ดมะรุมลดลงเมื่อพีเอชสูงขึ้น ความสัมพันธ์นี้เห็นได้ชัดเจนสำหรับเมล็ดมะรุมในน้ำ เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริก เมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่สำหรับเมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนตพบว่า ค่าพีเอชที่เปลี่ยนไปไม่ทำให้ค่าประจุบวกที่วัดได้เปลี่ยนแปลงไปมากนัก

จากการทดลองหาประจุของผงเมล็ดมะรุม ที่มีอายุ 0 , 1 และ 2 เดือน ในตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4 - 3 รูปที่ 4 - 11 และรูปที่ 4 - 12 เมื่อพิจารณาผงเมล็ดมะรุมอายุ 0, 1 และ 2 เดือนที่ละลายในน้ำโดยมีความเข้มข้นต่ำกว่า 200 มก/ล. เห็นได้ว่าผงเมล็ดมะรุม 1 เดือน ให้ค่าประจุมากกว่า 2 เดือน และ 0 เดือนตามลำดับ ส่วนในช่วงความเข้มข้นที่มากกว่า 200 มก/ล. ค่าประจุที่ได้ในแต่ละเดือนไม่สัมพันธ์กับอายุของผงเมล็ดมะรุม เช่นเดียวกับมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 300 มก./ล. พบว่าเมื่อใช้ผงเมล็ดมะรุมอายุ 1 เดือนนั้นให้ค่าประจุที่มากกว่า 0 และ 2 เดือน ส่วนในช่วงความเข้มข้นที่มากกว่า 300 มก./ล. ผงเมล็ดมะรุมอายุ 0 เดือน มีแนวโน้มที่มีประจุมากกว่า 2 เดือนและ 1 เดือน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อนำผงเมล็ดมะรุม 0 ,1 และ 2 เดือนมาละลายในน้ำและกรดไฮโดรคลอริก ค่าประจุที่ได้ก็ยังเป็นประจุบวกเสมอ แต่เมื่อพิจารณาถึงเมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ

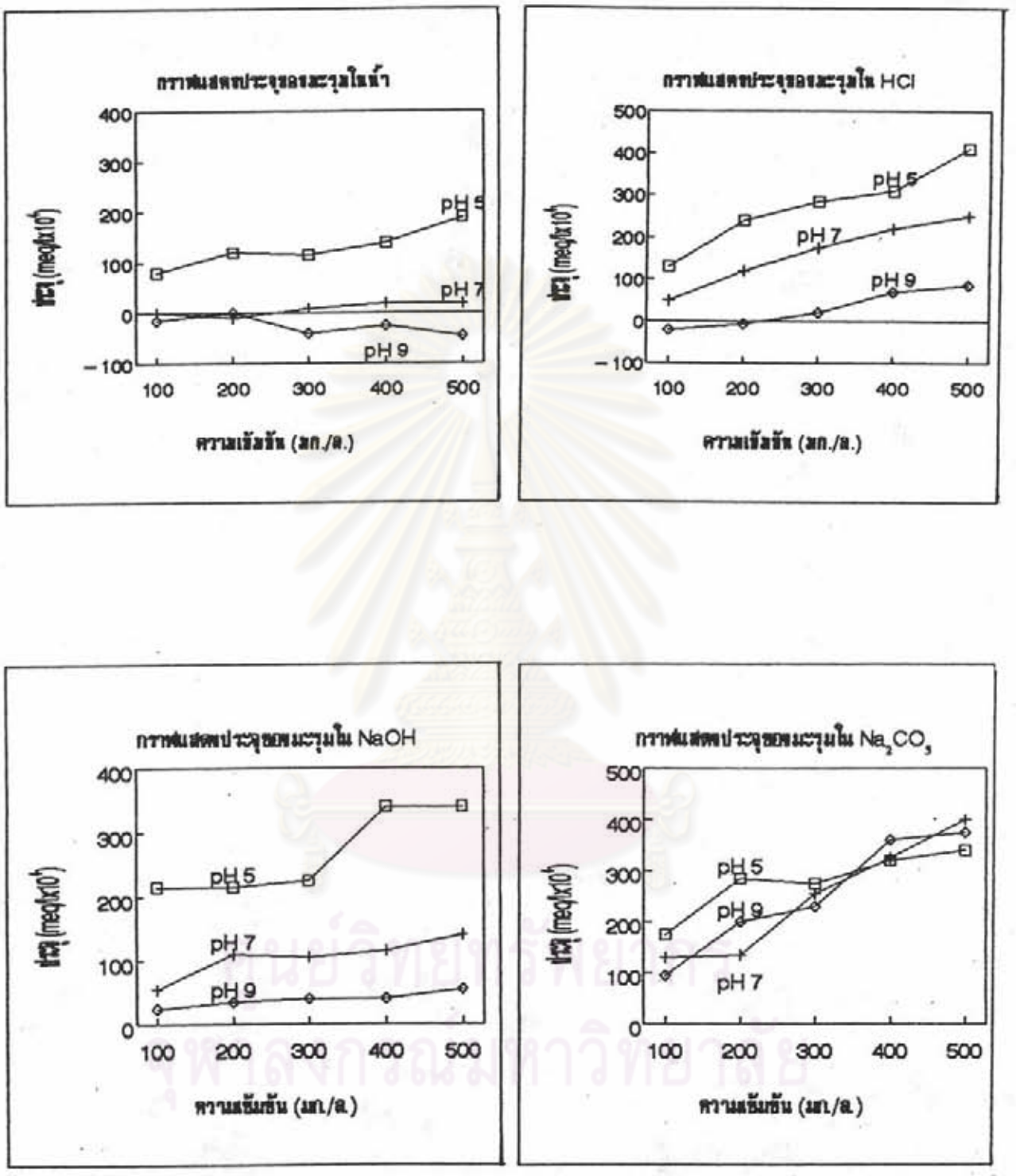
file name :\thesis\table\titrate\month0.wk1

ตารางที่ 4–2 ประจุของเมล็ดมะรุมอายุ 0 เดือนที่พีเอชต่าง ๆ

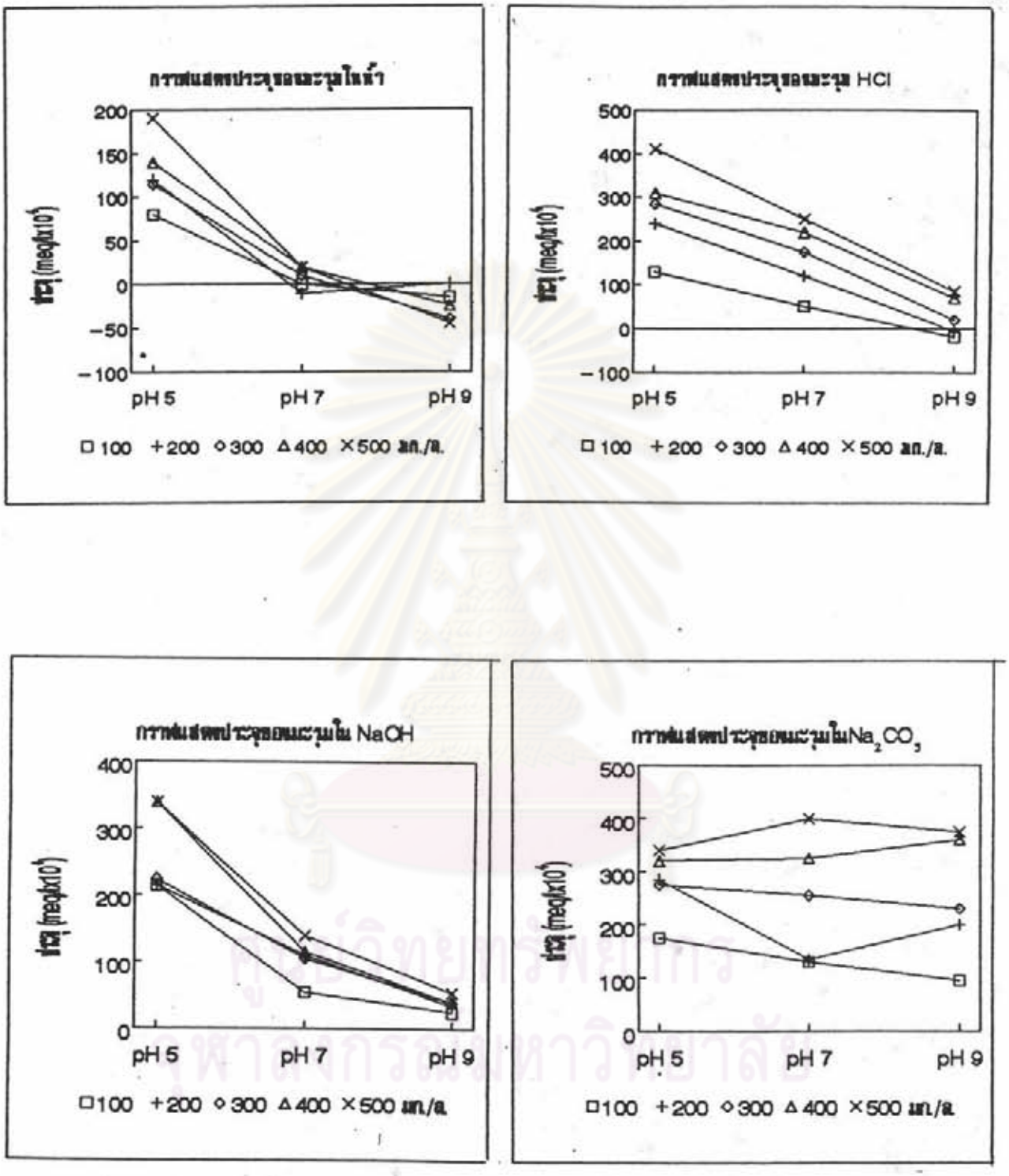
ชนิดของโพเลกกูแลนท์	ความเข้มข้น	ประจุ (meq/lx10^4)		
	มก./ล.	pH 5	pH 7	pH 9
มะรุม 2% ในน้ำ	100	80	0	−15
	200	120	−10	0
	300	115	10	−40
	400	140	20	−25
	500	190	20	−45
มะรุม 2% ใน HCl 0.05 N.	100	130	50	−20
	200	240	120	−5
	300	285	175	20
	400	310	220	70
	500	410	250	85
มะรุม 2% ใน NaOH 0.05 N.	100	215	55	25
	200	215	110	35
	300	225	105	40
	400	340	115	40
	500	340	140	55
มะรุม 2% ในโซดาแอช 0.05 N.	100	175	130	95
	200	285	135	200
	300	275	255	230
	400	320	325	360
	500	340	400	375



รูปที่ 4–8 กราฟแสดงค่าปะจุของสารละลายต่าง ๆ



รูปที่ 4–9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประจุกับความเข้มข้นของละลุมที่พีเอชต่าง ๆ

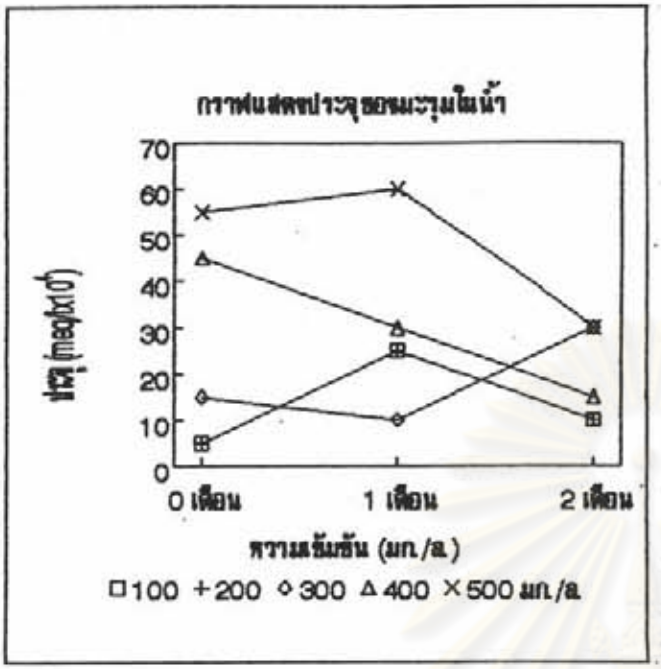


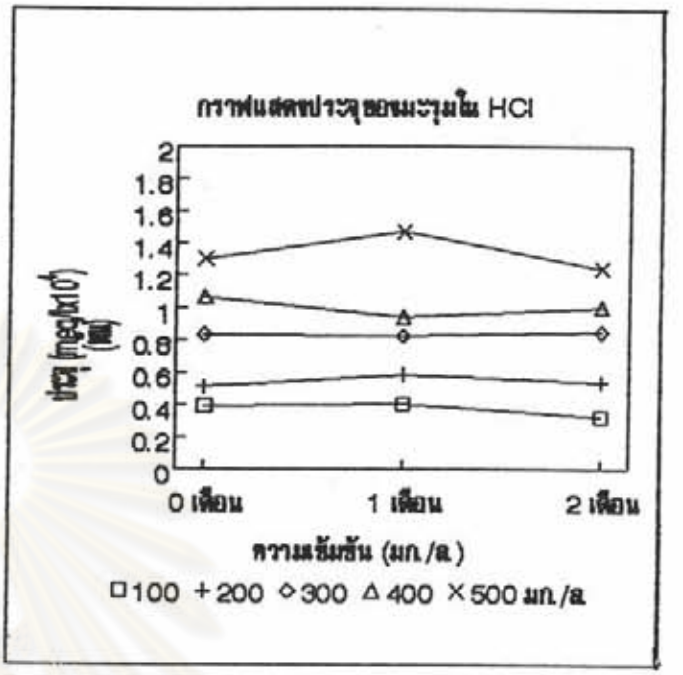
รูปที่ 4–10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประจุของแม็คละลุกับพีเอชที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

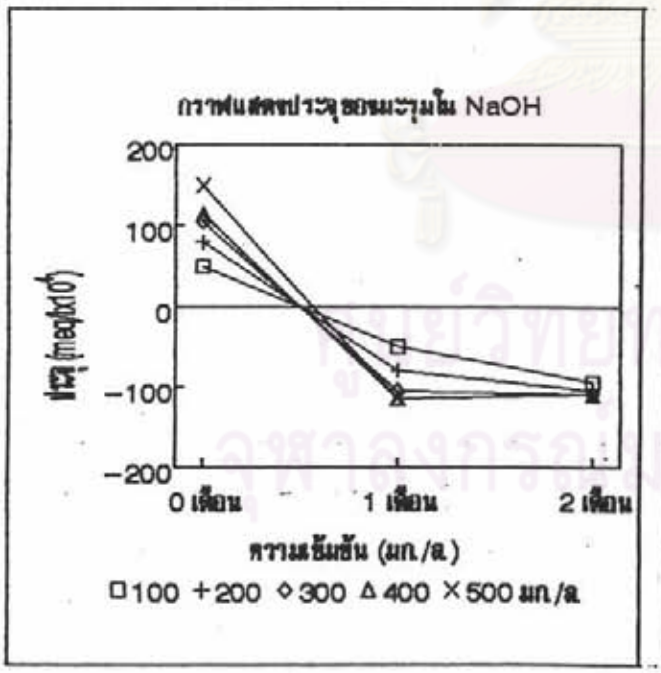
file name :\thesis\table\titrate\titrate.wk1

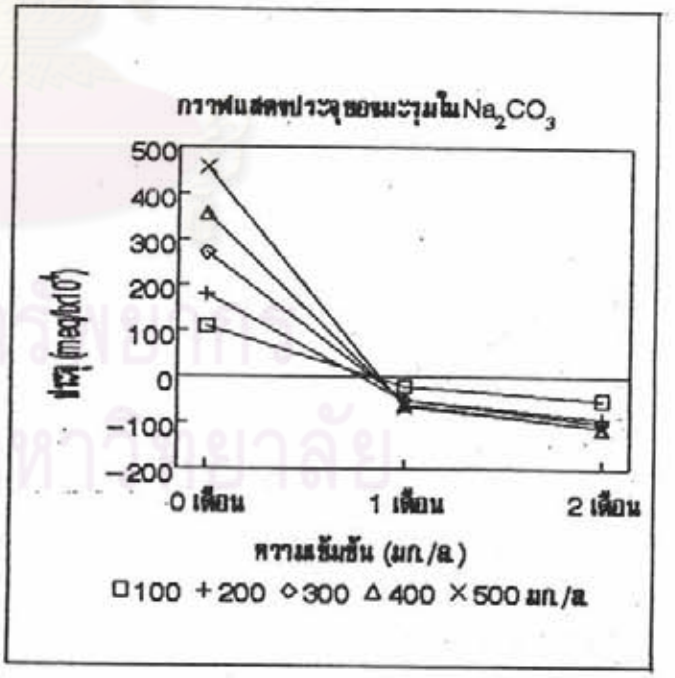
ตารางที่ 4–3 ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์จากการไทเทรตสารละลายต่าง ๆ

ชนิดของโซเดียมไฮดรอกไซด์	ความเข้มข้น มก./ล.	ตะกอนอายุ 0 เดือน		ตะกอนอายุ 1 เดือน		ตะกอนอายุ 2 เดือน	
		pH	ปริมาตร (meq/lx10^4)	pH	ปริมาตร (meq/lx10^4)	pH	ปริมาตร (meq/lx10^4)
สารละลาย 2% ในน้ำ	100	6.96	5	7.25	25	6.68	10
	200	6.72	5	7.22	25	6.57	10
	300	6.6	15	7.21	10	6.53	30
	400	6.57	45	7.22	30	6.5	15
	500	6.56	55	6.96	60	6.41	30
สารละลาย 2% ใน HCl 0.05 N.	100	3.92	395	4.06	405	3.98	325
	200	3.5	510	3.82	585	3.6	540
	300	3.22	835	3.36	825	3.47	850
	400	3.13	1065	3.22	940	3.36	1000
	500	3.02	1300	3.17	1470	3.16	1240
สารละลาย 2% ใน NaOH 0.05 N.	100	9.76	50	10.12	−50	9.73	−95
	200	10.13	80	10.17	−80	9.97	−105
	300	10.29	105	10.35	−105	10.16	−110
	400	10.31	115	10.33	−115	10.28	−110
	500	10.47	150	10.41	−115	10.45	−110
สารละลาย 2% ใน Na_2CO_3 0.05 N	100	9.53	110	9.5	−20	9.21	−50
	200	9.76	180	9.74	−50	9.44	−90
	300	9.92	270	9.77	−50	9.63	−100
	400	10	355	10.03	−60	9.75	−110
	500	10.06	455	10.02	−65	9.81	−110

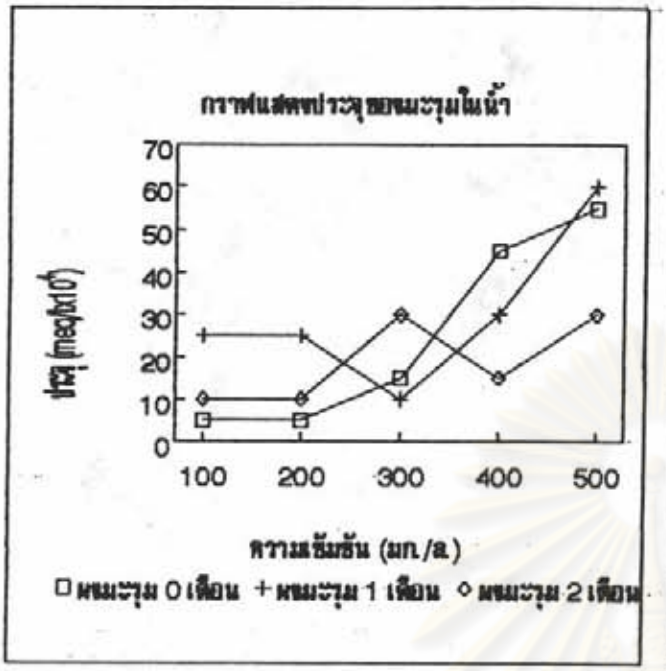


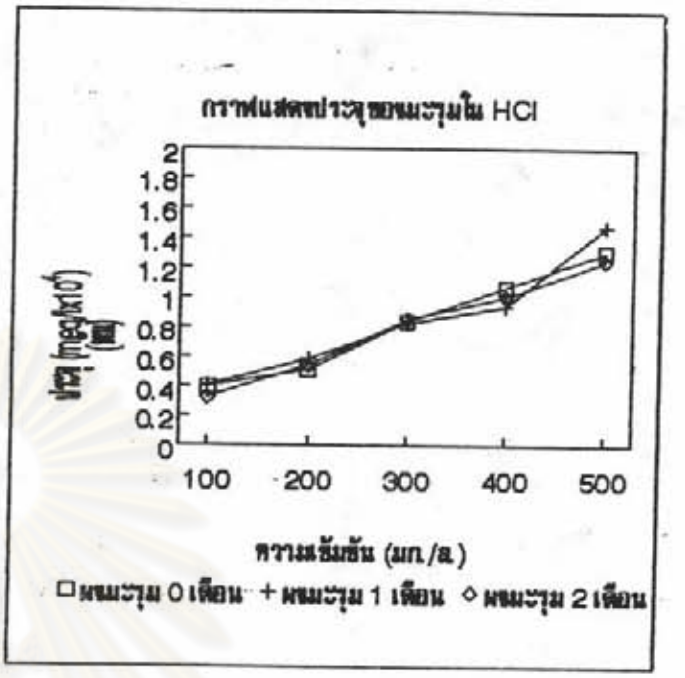


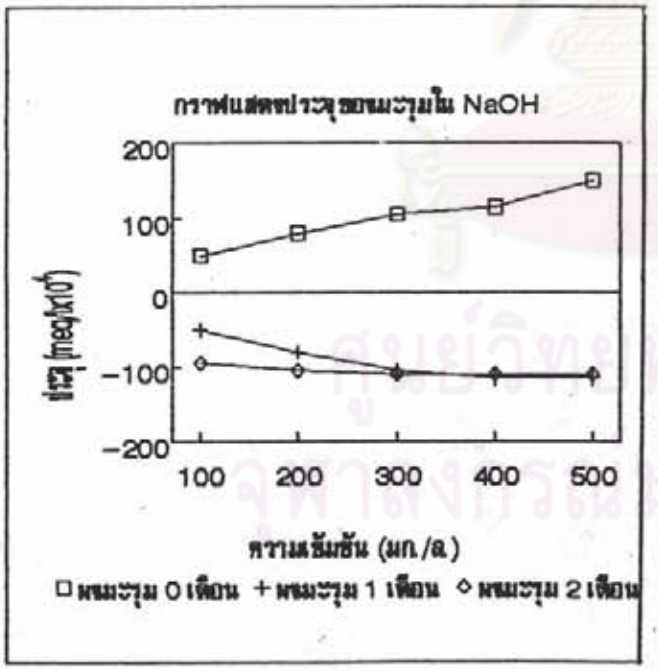


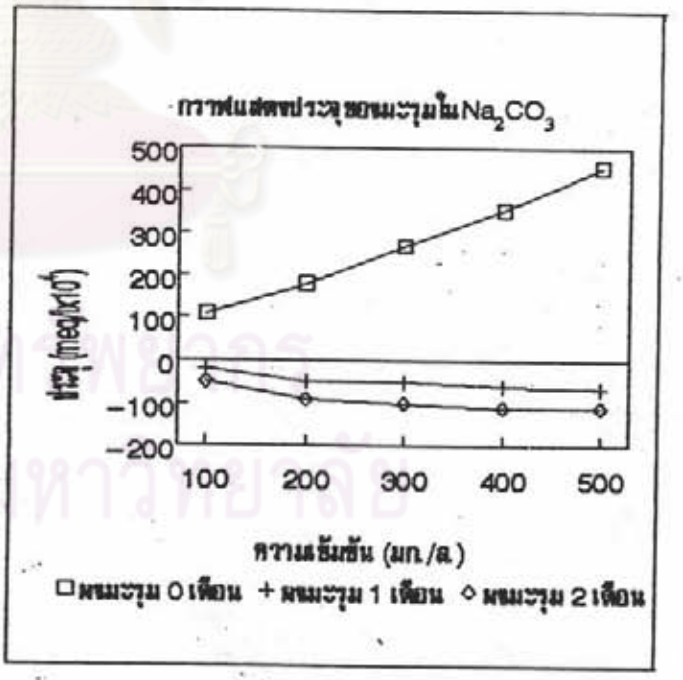


รูปที่ 4–11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประจุกับอายุของผงเมล็ดมะรุม









รูปที่ 4–12 กราฟแสดงปริมาณประจุของแมกนีเซียมในตัวทำละลายต่าง ๆ เมื่อใช้ผงแมกนีเซียม 0,1 และ 2 เดือน

เมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต จะพบว่า เมื่อใช้ผงเมล็ดมะรุม 0 เดือน ค่าประจุที่ได้มีค่าเป็นบวก และมีค่าประจุลบเมื่อใช้ผงเมล็ดมะรุม 1 และ 2 เดือน โดยที่ผงเมล็ดมะรุม 2 เดือนจะให้ค่าประจุลบมากกว่าผงเมล็ดมะรุม 1 เดือน

การใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์

1. ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น

การทดลองใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4 - 4 และรูปที่ 4 - 13 ซึ่งแสดงค่าความขุ่นตกค้างที่ได้ ส่วนตารางที่ 4 - 5 รูปที่ 4 - 14 และรูปที่ 4 - 15 แสดงถึงประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของเมล็ดมะรุม

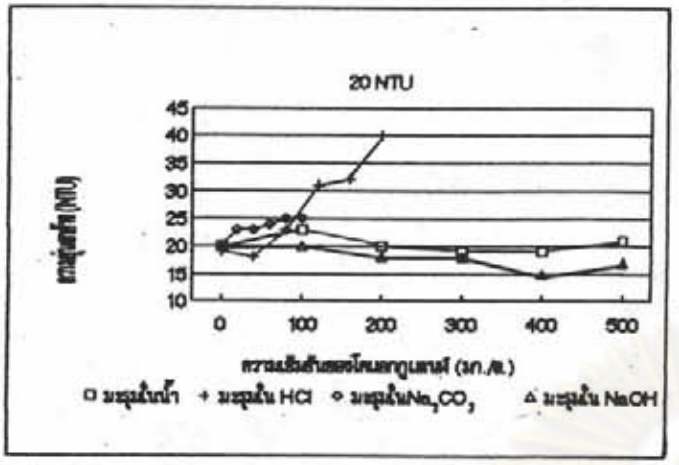
จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ที่ความขุ่น 20 เอ็นทียู เมล็ดมะรุมนอกจากไม่สามารถกำจัดความขุ่นได้ดีแล้วยังทำให้ค่าความขุ่นเพิ่มมากขึ้น หรือสามารถกำจัดความขุ่นได้บ้างเมื่อใช้ในปริมาณที่สูงมาก ทั้งนี้เป็นเพราะน้ำที่มีความขุ่นต่ำมีปริมาณคอลลอยด์ต่ำ หรือมีเป้าสัมผัสที่จะให้โคแอกกูแลนต์ที่เติมลงไปยึดเกาะเพื่อทำลายเสถียรภาพในปริมาณน้อย จึงทำให้ไม่สามารถกำจัดความขุ่นได้ หรือต้องใช้โคแอกกูแลนต์ในปริมาณมากพอที่จะไปจับกับเป้าสัมผัสนั้น ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นน้อยกว่า 20 % ไม่ว่าจะใช้เมล็ดมะรุมในตัวทำละลายชนิดใดก็ตาม เมื่อความขุ่นเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจะเพิ่มขึ้น และพบว่าที่ความขุ่นมากกว่า 200 เอ็นทียู การใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมากกว่า 70 %

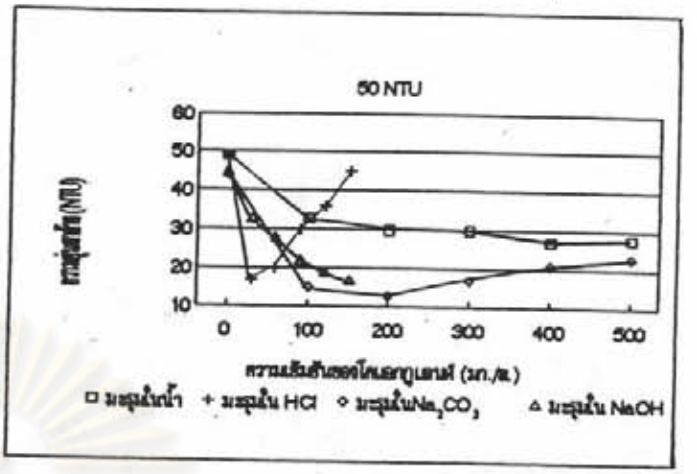
เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของเมล็ดมะรุม 0 เดือนในตัวทำละลายแต่ละชนิดพบว่า เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกให้ประสิทธิภาพดีที่สุดในทุกค่าความขุ่น โดยใช้ในปริมาณที่น้อยที่สุดและให้ค่าความขุ่นตกค้างต่ำที่สุด ความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 20 - 40 มก./ล. รองลงมาคือเมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต และเมล็ดมะรุมในน้ำ โดยเมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์และเมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนตมีค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน คือ 120 - 200 มก./ล. ส่วนเมล็ดมะรุมในน้ำนั้นจะมีความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 100 ถึง 400 มก./ล. ขึ้นอยู่กับค่าความขุ่นของน้ำ เห็นได้ว่าถึงแม้การใช้เมล็ดมะรุมสามารถลดความขุ่นได้ถึง 40 - 90 % แต่ปริมาณที่ใช้ก็นับว่าสูงมาก

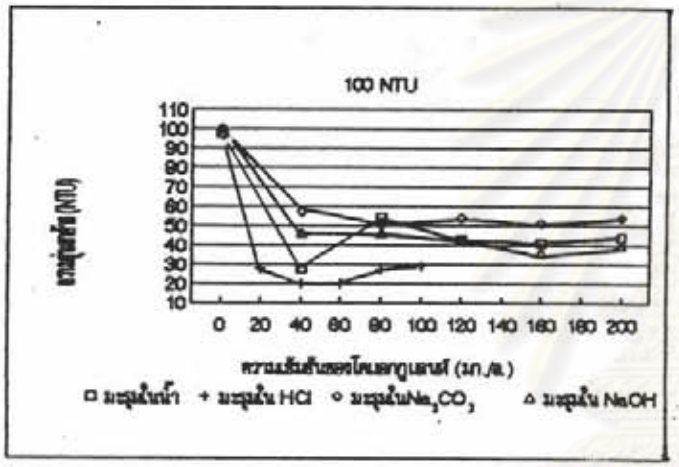
ตารางที่ 4–4 ความขุ่นเตกค้างเมื่อใช้เมล็ดมะรุม 0 เดือนเป็นโคแอกกูแลนท์

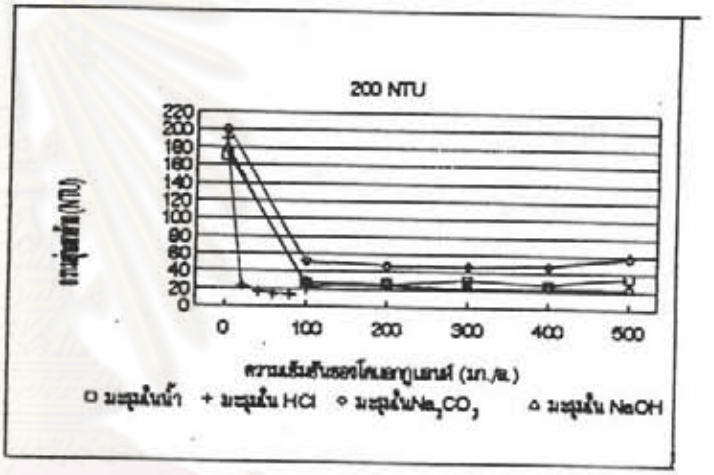
ความขุ่น (NTU)	ชนิดของโคแอกกูแลนท์	ความขุ่นเตกค้าง (NTU) ความเข้มข้นของโคแอกกูแลนท์ (มก./ล.)																
		0	20	30	40	50	60	80	90	100	120	150	160	200	250	300	400	500
20	มะรุมในน้ำ	20								23				20		19	19	21
	มะรุมในเกรดไฮโดรคลอริก	19			18			23			31		32	40				
	มะรุมในไซเดียมคาร์บอเนต	20	23		23		24	25		25								
	มะรุมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	20								20				18		18	15	17
50	มะรุมในน้ำ	49								33				30		30	27	28
	มะรุมในเกรดไฮโดรคลอริก	49		17			20		30		36	45						
	มะรุมในไซเดียมคาร์บอเนต	44								15				13		17	21	23
	มะรุมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	45		33			28		22		19	17						
100	มะรุมในน้ำ	98			28			54			43		41	44				
	มะรุมในเกรดไฮโดรคลอริก	100	28		20		20	27		29								
	มะรุมในไซเดียมคาร์บอเนต	100			57			50			54		51	54				
	มะรุมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	100			46			46			43		36	40				
200	มะรุมในน้ำ	170								25				27		30	26	35
	มะรุมในเกรดไฮโดรคลอริก	190	23		16		14	14		20								
	มะรุมในไซเดียมคาร์บอเนต	200								51				47		46	48	58
	มะรุมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	180								29				28		25	25	25
300	มะรุมในน้ำ	290				52				52		45		50	57			
	มะรุมในเกรดไฮโดรคลอริก	290	34		27		23	28		33								
	มะรุมในไซเดียมคาร์บอเนต	280				60				56		50		53	61			
	มะรุมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	300				50				45		40		40	40			

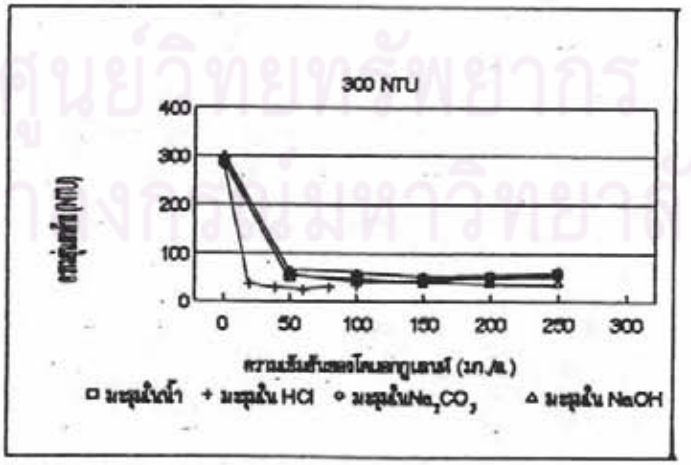
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย









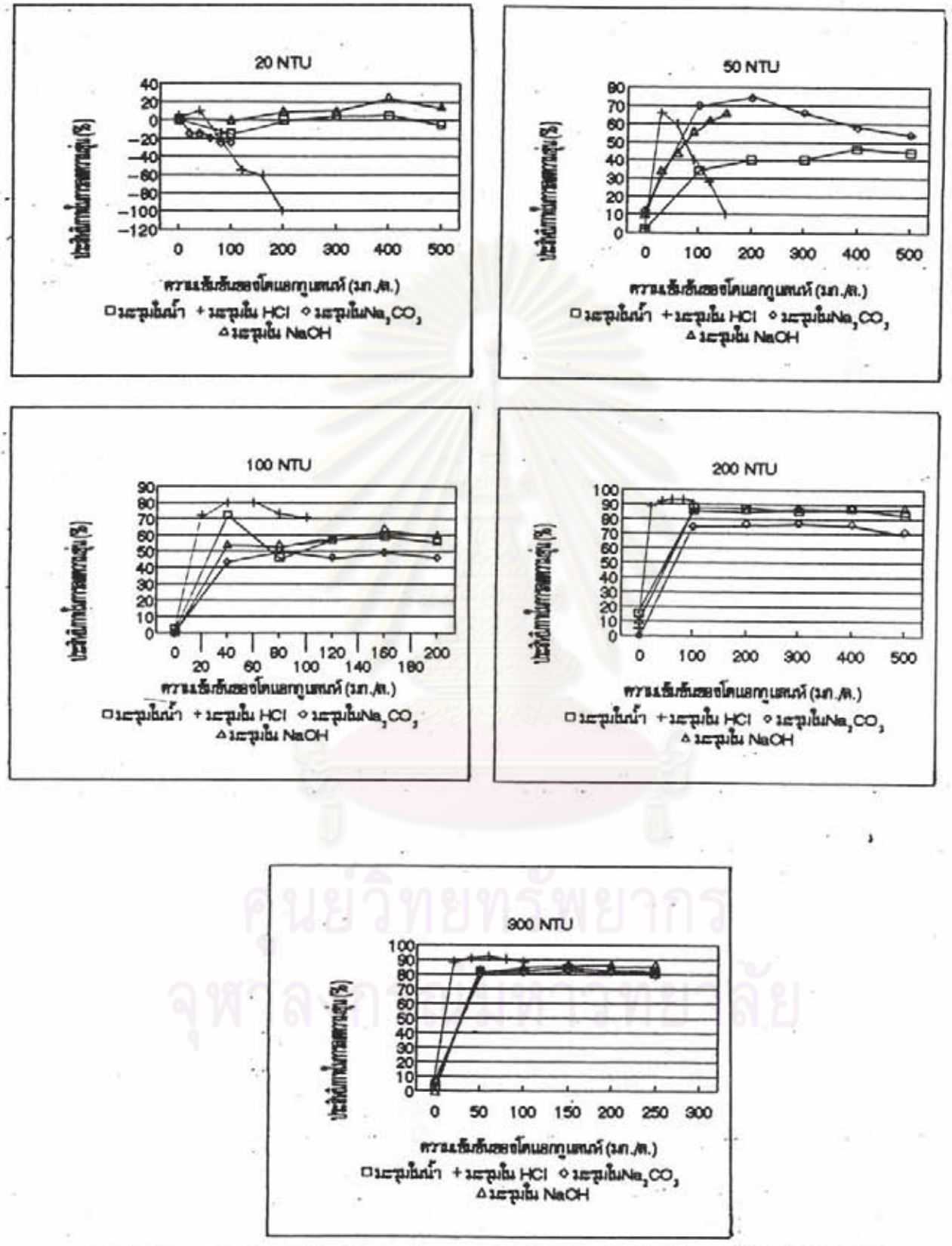


รูปที่ 4–13 ความขุ่นเหลือของน้ำขุ่นสังเคราะห์ความขุ่นต่าง ๆ เมื่อใช้เมล็ดมะรุมในตัวทำละลายต่าง ๆ และใช้โคแอกกูแลนท์

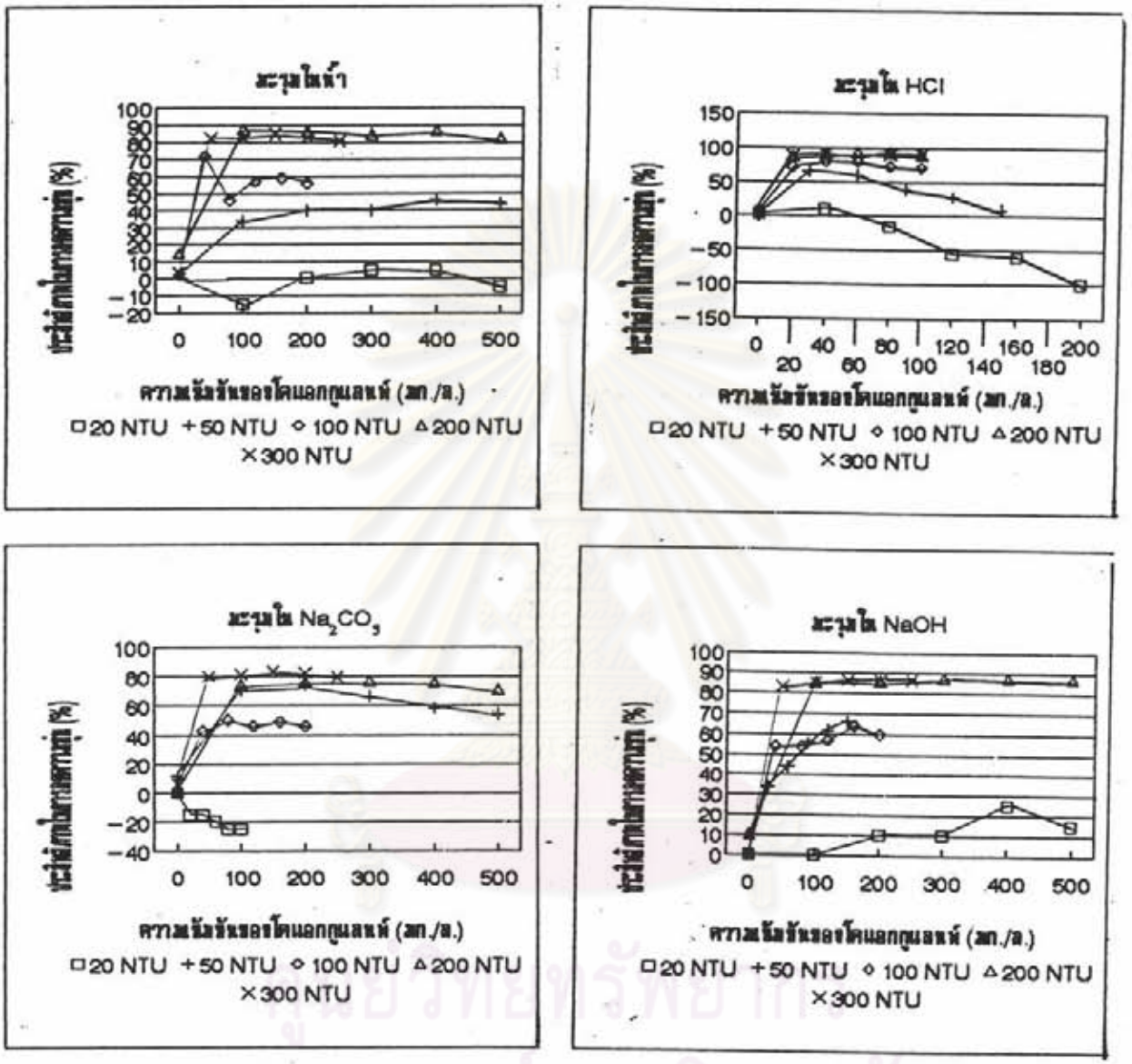
c:\thesis\table\coag.wk1

ตารางที่ 4–5 ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้เมล็ดมะรุม 0 เดือนเป็นโคแอกกูแลนท์

ความขุ่น (NTU)	ชนิดของโคแอกกูแลนท์	ประสิทธิภาพในการลดความขุ่น (%) ความเข้มข้นของโคแอกกูแลนท์ (มก./ล.)																
		0	20	30	40	50	60	80	90	100	120	150	160	200	250	300	400	500
20	มะรุมในน้ำ	0								–15				0		5	5	–5
	มะรุมในกรดไฮโดรคลอริก	5			10			–15			–55		–60	–100				
	มะรุมในไซเดียมคาร์บอเนต	0	–15		–15		–20	–25		–25								
	มะรุมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	0								0				10		10	25	15
50	มะรุมในน้ำ	2								34				40		40	46	44
	มะรุมในกรดไฮโดรคลอริก	2		66			60		40		28	10						
	มะรุมในไซเดียมคาร์บอเนต	12								70				74		66	58	54
	มะรุมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	10		34			44		56		62	66						
100	มะรุมในน้ำ	2			72			46			57		59	56				
	มะรุมในกรดไฮโดรคลอริก	0	72		80		80	73		71								
	มะรุมในไซเดียมคาร์บอเนต	0			43			50			46		49	46				
	มะรุมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	0			54			54			57		64	60				
200	มะรุมในน้ำ	15								88				87		85	87	83
	มะรุมในกรดไฮโดรคลอริก	5	89		92		93	93		90								
	มะรุมในไซเดียมคาร์บอเนต	0								75				77		77	76	71
	มะรุมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	10								86				86		86	86	86
300	มะรุมในน้ำ	3				83				83		85		83	81			
	มะรุมในกรดไฮโดรคลอริก	3	89		91		92	91		89								
	มะรุมในไซเดียมคาร์บอเนต	7				80				81		83		82	80			
	มะรุมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	0				83				85		87		87	87			



รูปที่ 4–14 ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของโคแอกกูแลนท์จากแม็คผสมในตัวทำละลายต่าง ๆ



รูปที่ 4–15 ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนท์สำหรับน้ำขุ่นสังเคราะห์ความขุ่นต่าง ๆ

อย่างไรก็ตามการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ไม่สามารถลดความขุ่นให้เหลือต่ำกว่า 10 เอ็นทียู ซึ่งเป็นค่าความขุ่นที่เหมาะสมของน้ำก่อนเข้าถังกรองได้ ทั้งนี้เป็นเพราะฟล็อคที่เกิดจากการใช้เมล็ดมะรุมมีขนาดเล็กและเบา ทำให้ตกตะกอนได้ไม่ดี จึงทำให้กำจัดความขุ่นได้ไม่ดีเท่าที่ควร รูปที่ 4 - 16 แสดงลักษณะของฟล็อคที่เกิดเมื่อใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์

เนื่องจากพีเอชของน้ำที่ทำการทดลองอยู่ในช่วง 7.4 - 7.9 ซึ่งจากผลการหาประจุที่พีเอชในช่วงดังกล่าวนั้นเมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนตมีประจุบวกมากที่สุด รองลงมาคือ เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริก เมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเมล็ดมะรุมในน้ำตามลำดับ (ดูรูปที่ 4 - 8) แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์พบว่า เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพมากที่สุด รองลงมาคือ เมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต เมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเมล็ดมะรุมในน้ำตามลำดับ นอกจากนี้ในการเตรียมโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะรุมพบว่า กรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุด (รูปที่ 4 - 3) ส่วนตัวทำละลายที่เหลืออีก 3 ชนิดให้ผลการละลายที่ใกล้เคียงกัน จากผลที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้นนั้นเห็นได้ว่า กลไกในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคความขุ่น โดยการใช้เมล็ดมะรุมน่าจะใช้กลไกสะพานเชื่อมเป็นหลัก จากการศึกษาที่ผ่านมาคาดว่าตัวสะพานเชื่อมนั้นน่าจะเกิดจากสารประกอบพวกโพลีเปปไตด์ ซึ่งจะไปเกาะกับอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้สูญเสียเสถียรภาพ จึงสามารถรวมกันเป็นฟล็อคและตกตะกอนได้ในที่สุด จากผลของการละลายของเมล็ดมะรุมในตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิดที่เห็นได้ว่า เมล็ดมะรุมสามารถละลายได้มากที่สุดเมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวทำละลาย จึงเป็นไปได้ว่ากรดไฮโดรคลอริกสามารถสกัดเอาสารประกอบพวกโพลีเปปไตด์ออกมาได้มากกว่า จึงทำให้เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงที่สุด ส่วนเมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต เมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเมล็ดมะรุมในน้ำมีการละลายได้น้อยมาก ซึ่งจากสมมติฐานเดิมจะแสดงว่ามีสารประกอบพวกโพลีเปปไตด์น้อย แต่การที่สามารถกำจัดความขุ่นได้น่าจะเกิดจากกลไกดูดติดผิว เนื่องจากกลไกนี้ต้องใช้โคแอกกูแลนต์ที่มีประจุตรงข้ามกับอนุภาคความขุ่น ดังนั้นเมล็ดมะรุมจึงเป็นการเติมประจุบวกลงไปในน้ำดิบ โดยประจุบวกที่เติมจะถูกดูดติดที่ผิวของอนุภาคความขุ่น ทำให้อำนาจในการแสดงประจุลบลดลง และเสียเสถียรภาพในที่สุด ดังนั้นเมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนตซึ่งมีประจุบวกมากที่สุด จึงสามารถกำจัดความขุ่นได้มากที่สุด โดยที่เมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเมล็ดมะรุมในน้ำมีประสิทธิภาพรองลงมา

รูปที่ 4-16 ลักษณะฟล้อคที่ได้จากการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนท์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ผลกระทบต่อพีเอช และความเป็นด่างของน้ำ

ในการเติมเมล็ดมะรุมเพื่อเป็นโคแอกกูแลนต์ลงในน้ำ มีผลทำให้ค่าพีเอชและความเป็นด่างของน้ำเปลี่ยนไป ดังแสดงรูปที่ 4 - 17 และรูปที่ 4 - 18 พบว่าการใช้เมล็ดมะรุมในน้ำไม่ทำให้ค่าพีเอชและค่าความเป็นด่างเปลี่ยนแปลงมากนัก ในขณะที่การใช้เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกนั้นทำให้พีเอชและความเป็นด่างลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกมีพีเอชอยู่ในช่วง 1.6 ถึง 1.7 เมื่อเติมลงในน้ำความเป็นกรดที่มีอยู่จึงไปทำลายความเป็นด่างของน้ำ จึงทำให้มีค่าความเป็นด่างลดลง และมีผลทำให้พีเอชลดลงด้วย ในกรณีที่ใช้เมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนตและเมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีพีเอชในช่วง 10 - 12 มาเป็นโคแอกกูแลนต์ จึงเท่ากับเป็นการเพิ่มค่าพีเอชและความเป็นด่างของน้ำ โดยจะทำให้พีเอชสูงขึ้นมาเป็น 7.5 - 9.5

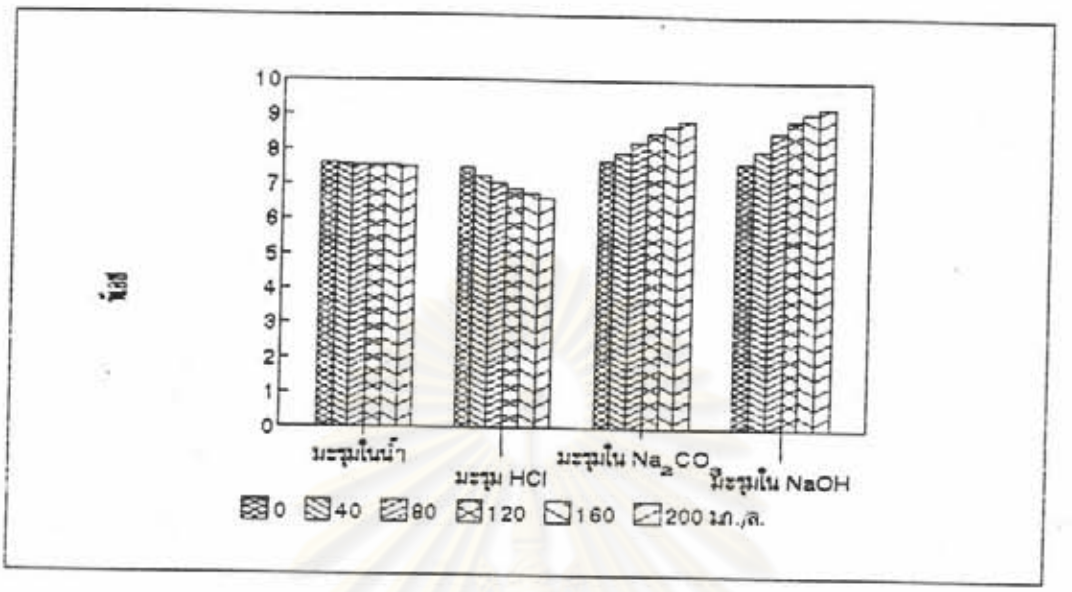
ตารางที่ 4 - 6 แสดงถึงค่าความเป็นด่างที่เปลี่ยนไปในแต่ละมิลลิกรัมของเมล็ดมะรุมที่เติมลงไป เห็นได้ว่าเมล็ดมะรุมในน้ำ 1 มิลลิกรัมทำให้ความเป็นด่างของน้ำลดลงเพียง 0.01 มิลลิกรัม หรือ 1 เปอร์เซนต์ ในขณะที่เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกทำลายความเป็นด่างถึง 11 เปอร์เซนต์ หรือ 0.11 มิลลิกรัมต่อเมล็ดมะรุมที่เติม 1 มิลลิกรัม ส่วนเมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิกรัมจะทำให้ค่าความเป็นด่างสูงขึ้น 12 และ 6 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

3. อิทธิพลของพีเอช

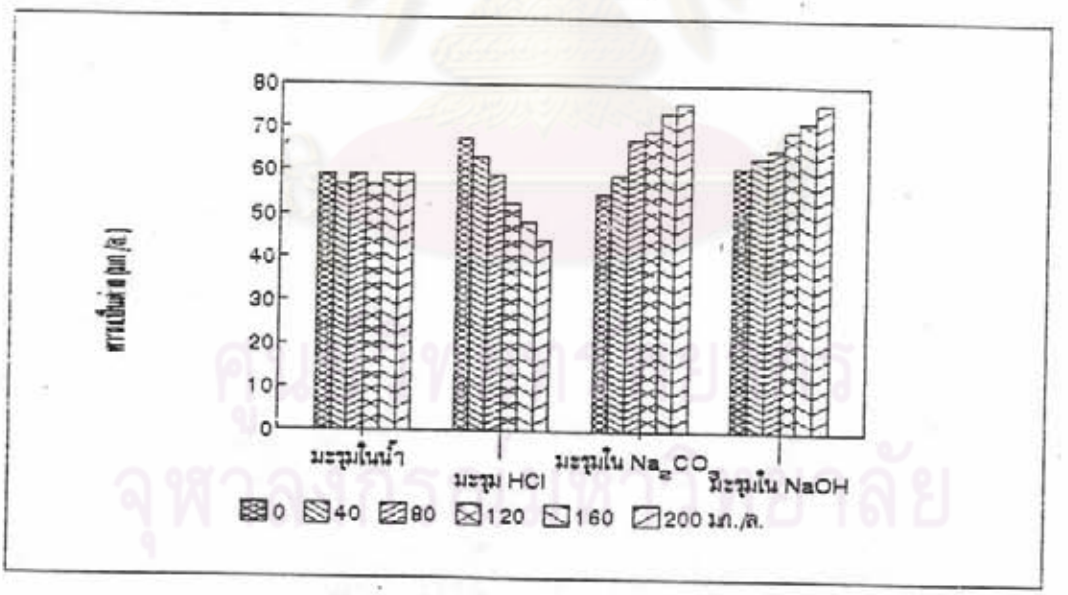
ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะรุม โดยศึกษาในช่วงพีเอชทั้งหมด 3 ช่วง คือ

ช่วงที่เป็นกรด	พีเอชประมาณ	4 - 6
ช่วงที่เป็นกลาง	"	6 - 7.5
ช่วงที่เป็นด่าง	"	7.5 - 9.5

ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4 - 19 ถึง รูปที่ 4 - 22 ซึ่งพบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการใช้เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริก เมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต และเมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นโคแอกกูแลนต์มีค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วงที่ 7.5 - 9.5 แต่เมื่อใช้เมล็ดมะรุมในน้ำจะมีค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6 - 7.5 นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการใช้น้ำดิบที่ไม่มีการปรับพีเอช ทำให้ได้ค่าพีเอชของน้ำใสอยู่ในช่วงพีเอชที่เหมาะสมได้พอดี



รูปที่ 4–17 การเปลี่ยนแปลงของฟีนอล เมื่อใช้เมล็ดมะรุมในตัวทำละลายต่าง ๆ เป็นโคแอกกูแลนท์



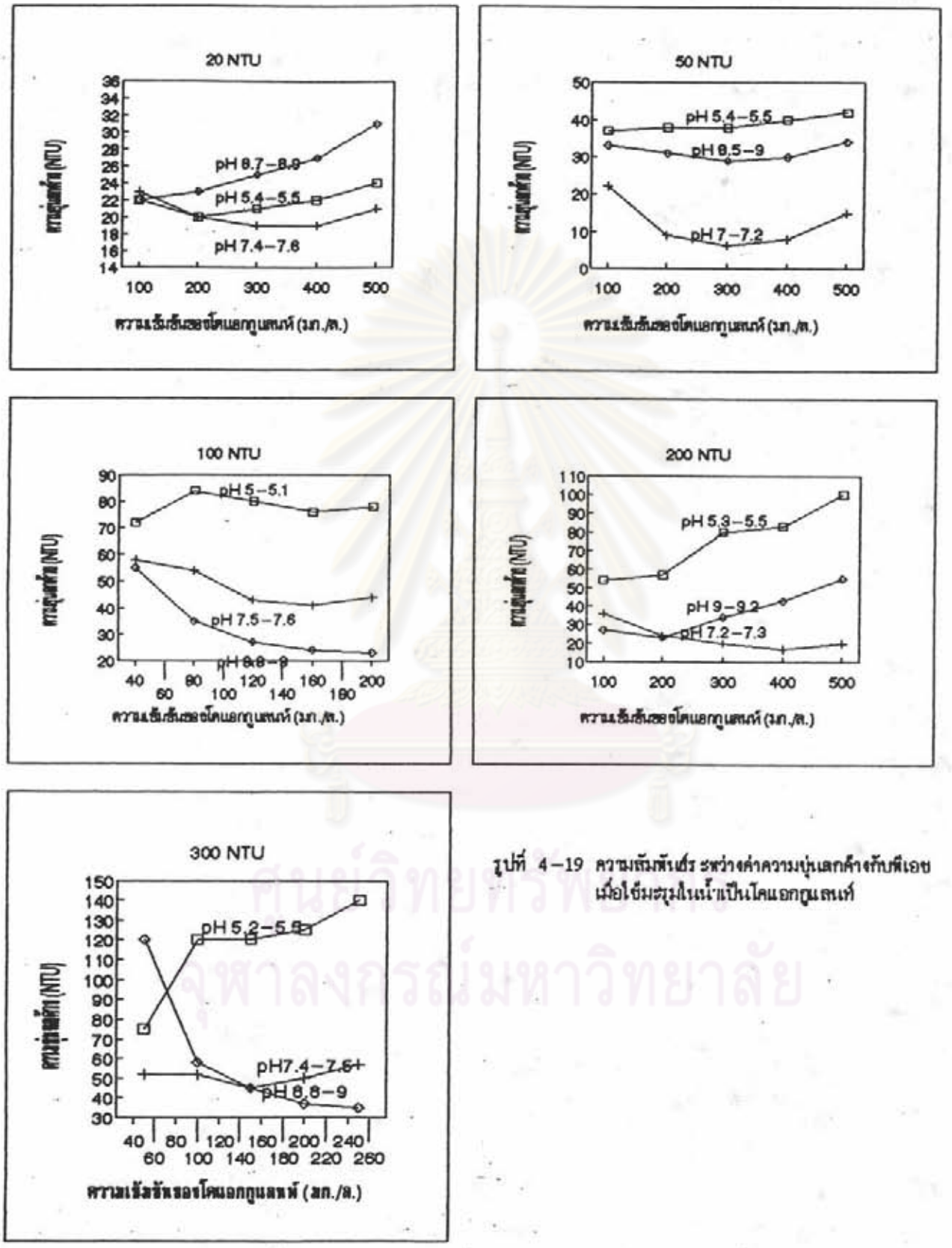
รูปที่ 4–18 การเปลี่ยนแปลงของความเป็นด่าง เมื่อใช้เมล็ดมะรุมในตัวทำละลายต่าง ๆ เป็นโคแอกกูแลนท์

ตารางที่ 4–6 ค่าความเป็นด่างที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้เมลือมะรุมเป็นโคแอกกูแลนท์

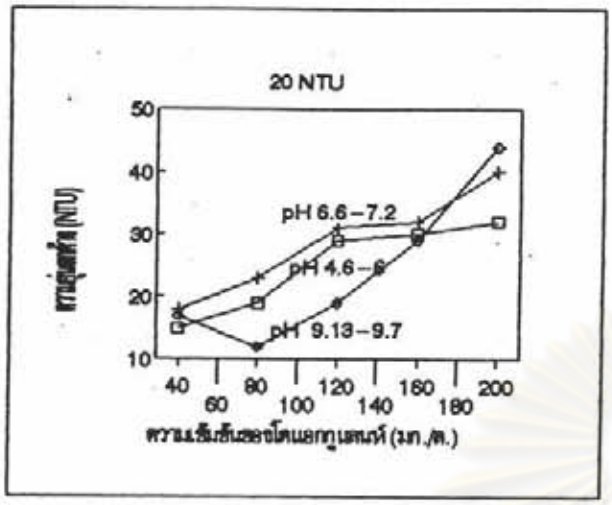
ชนิดของโคแอกกูแลนท์	ความเป็นด่าง (มก./ล.) ความเข้มข้นของโคแอกกูแลนท์ (มก./ล.)						ความเป็นด่างเปลี่ยนไป (มก./ล.ต่อ มก.ของเมล็ดมะรุม)
	0	40	80	120	160	200	
มะรุมในน้ำ	58.8	56.7	58.8	56.7	58.8	58.8	0.01
มะรุมในกรดไฮโดรคลอริก	67.2	63	58.8	52.5	48.3	44.1	0.11
มะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต	54.6	58.8	67.2	69.3	73.5	75.6	−0.12
มะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์	60.9	63	65.1	69.3	71.4	75.6	−0.06

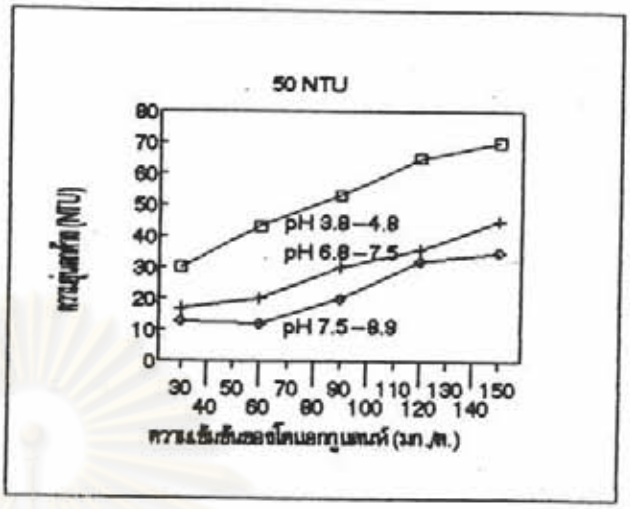
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

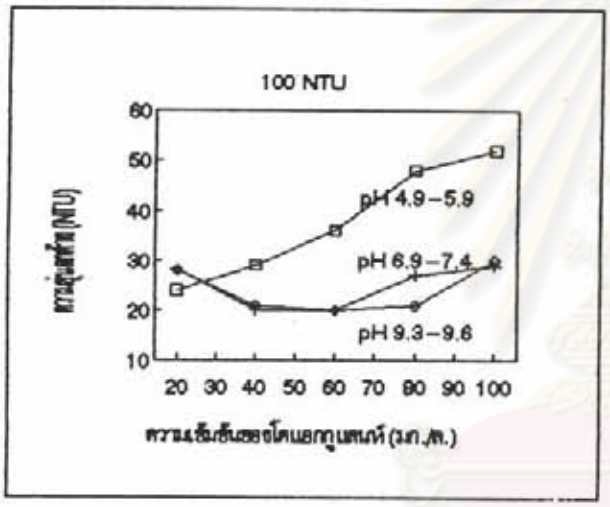
c:\thesis\table\coag.wk1

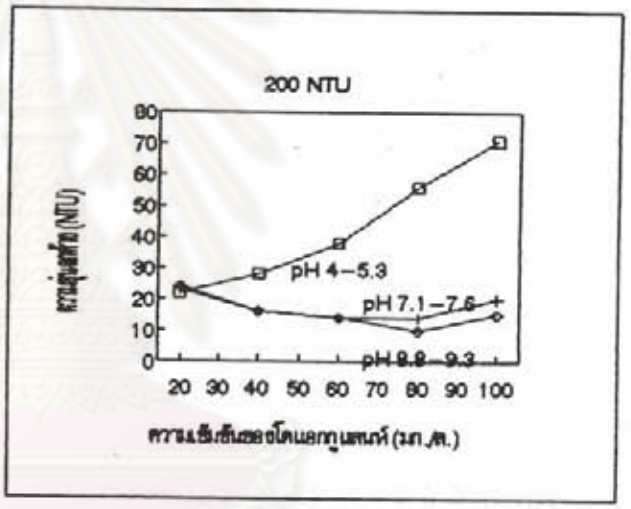


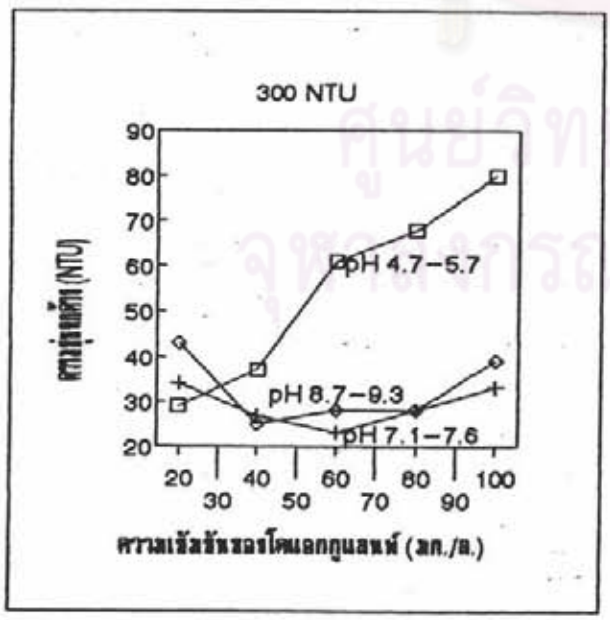
รูปที่ 4–19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นเลกค้างกับพีเอช เมื่อใช้มะรุมในน้ำแป้นโคแอกกูแลนท์



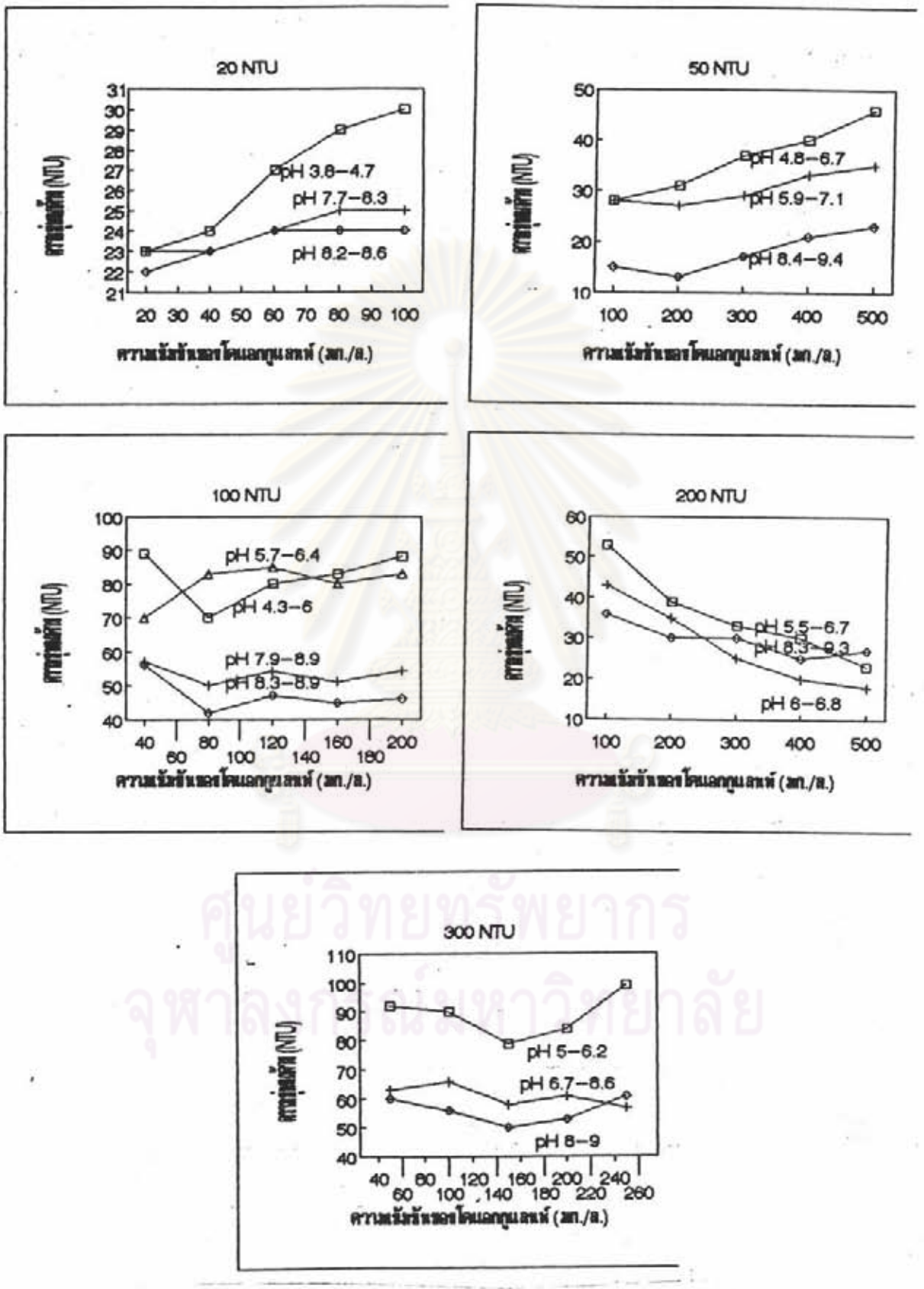




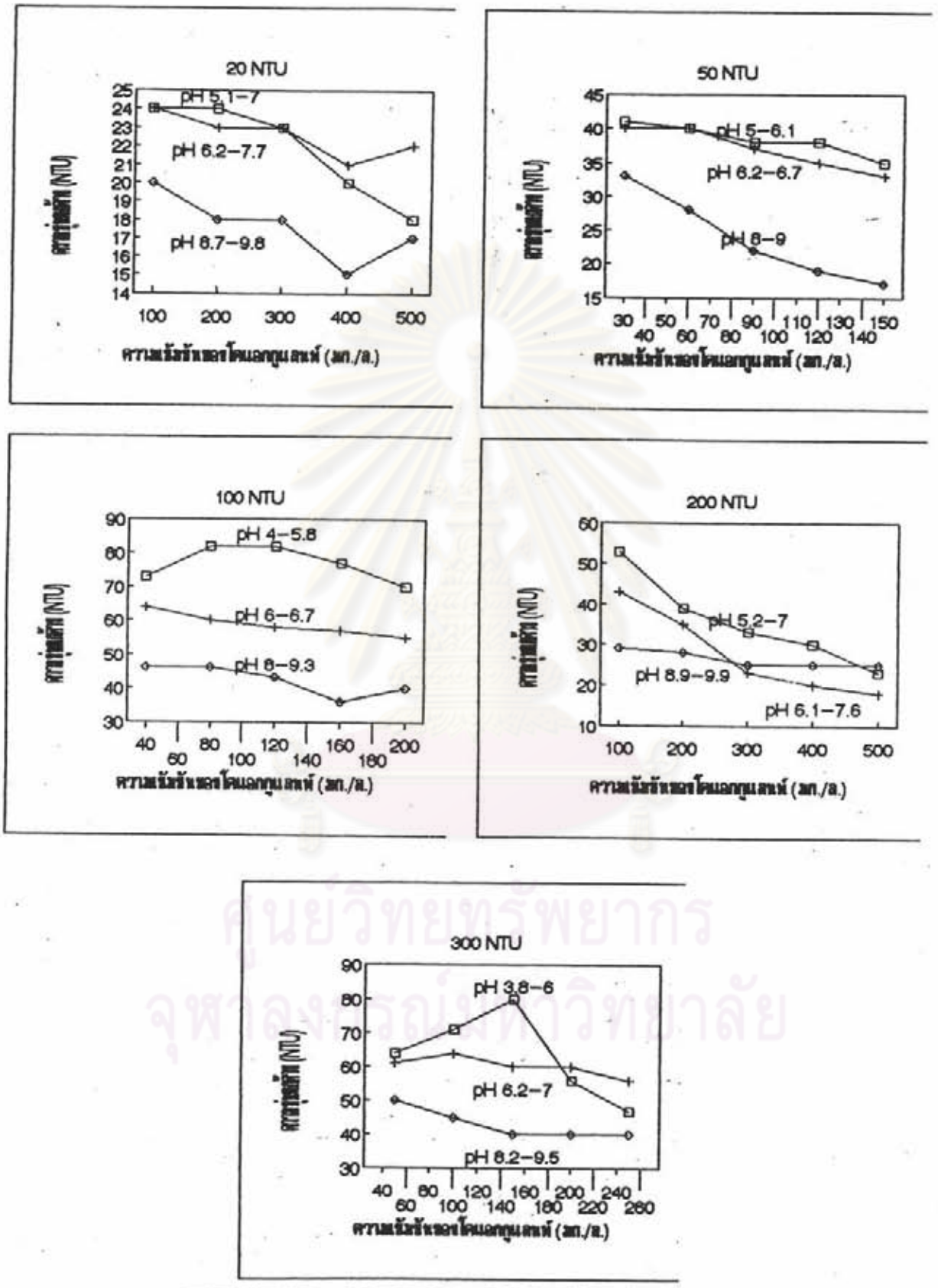




รูปที่ 4–20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นเลกล้างกับพีเอช เมื่อใช้มธุรสในเกรดไอโซอิเลคทริกเป็นโคแอกกูแลนท์



รูปที่ 4–21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นตกค้างกับพีเอช เมื่อใช้มะรุมในไซเดียมคาร์บอเนตเป็นไคแอกกูแลนท์



รูปที่ 4–22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นเมื่อล้างกับพีเอช เมื่อใช้มะรุมในไซเตียมไฮดรอกไซด์เป็นไคแอกกูแลนท์

4. การทดสอบความเสื่อมของผงเมล็ดมะรุม

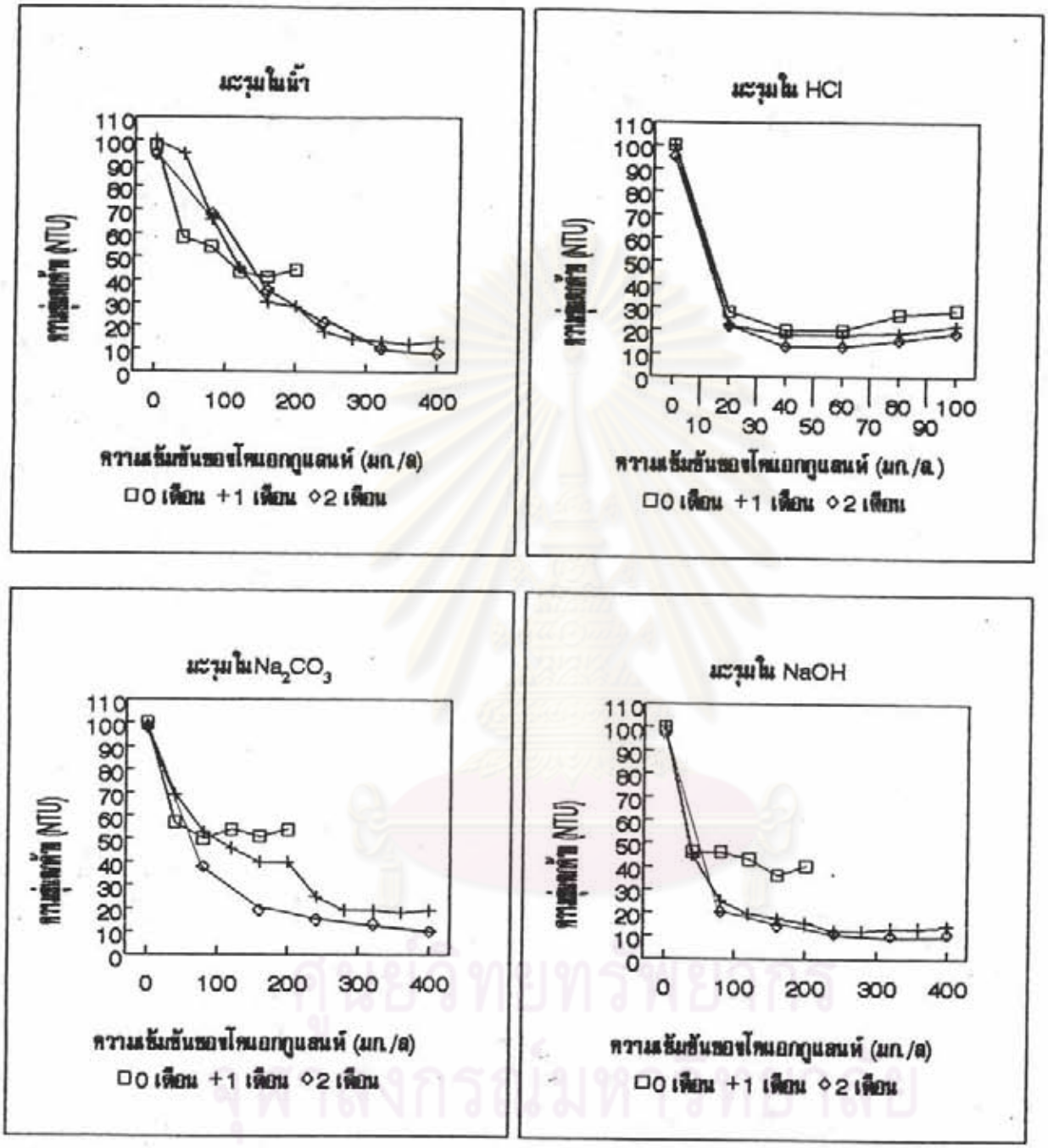
การทดสอบความเสื่อมของผงเมล็ดมะรุมกระทำได้โดยการหาประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้ผงเมล็ดมะรุมที่มีอายุ 0 , 1 และ 2 เดือนเป็นโคแอกกูแลนต์ โดยใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์ที่มีความขุ่น 100 เอ็นทียู ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4 - 23 เมื่อพิจารณาถึงผลที่ได้ พบว่าเมื่อใช้ผงเมล็ดมะรุมอายุ 0 , 1 และ 2 เดือนละลายในน้ำ โซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้ผลที่คล้ายคลึงกัน คือเมื่อใช้ผงเมล็ดมะรุม 0 เดือนในปริมาณ 160 มก./ล สามารถลดความขุ่นให้เหลือได้ต่ำที่สุด เมื่อเติมในปริมาณที่มากกว่านี้จะทำให้ความขุ่นเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้ผงเมล็ดมะรุมที่มีอายุ 1 และ 2 เดือนนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสามารถลดความขุ่นลงจากเดิมได้ ส่วนกรณีที่ใช้กรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวทำละลายพบว่า การใช้ผงเมล็ดมะรุม 0 , 1 หรือ 2 เดือนนั้นใช้ในปริมาณที่เท่ากันคือ 40 มก./ล. โดยให้ค่าความขุ่นตกค้าง 20 , 18 และ 13 เอ็นทียู ตามลำดับ ซึ่งจากผลทั้งหมดนี้จะเห็นว่าผงเมล็ดมะรุมที่มีอายุ 2 เดือนมีประสิทธิภาพมากกว่าผงเมล็ดมะรุมที่มีอายุ 1 และ 0 เดือนตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเก็บผงเมล็ดมะรุมไว้เป็นเวลานาน ทำให้โปรตีนเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้อยู่ในรูปของสารประกอบโพลีเปปไทด์ได้ กลไกหลักของการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคความขุ่นคือกลไกสะพานเชื่อม โดยมีโพลีเปปไทด์เป็นตัวสะพาน ดังนั้นเมื่อใช้ผงเมล็ดมะรุมที่มีอายุ 2 เดือนเป็นโคแอกกูแลนต์จึงมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ผงเมล็ดมะรุม 1 และ 0 เดือนตามลำดับ

5. การทดสอบกับน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

น้ำดิบธรรมชาติที่นำมาทดสอบมาจาก 2 แหล่งด้วยกัน คือ คลองประปา และแม่น้ำนครชัยศรี โดยมีคุณสมบัติของน้ำดังนี้ คือ

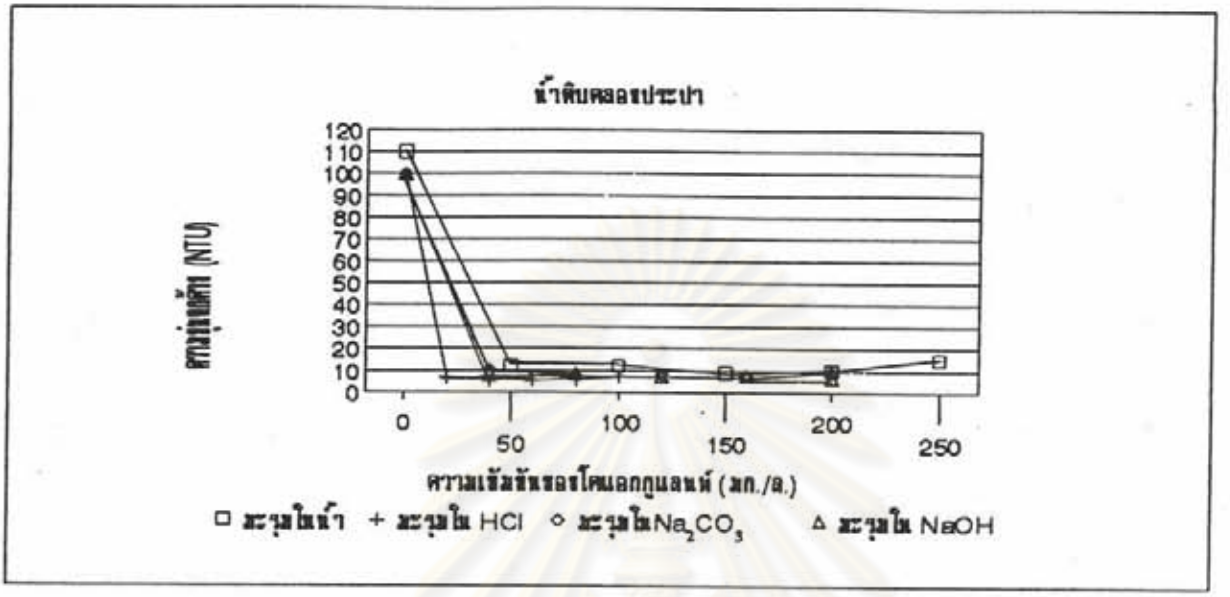
แหล่งน้ำดิบ	ความขุ่นเฉลี่ย (เอ็นทียู)	ความเป็นด่างเฉลี่ย(มก./ล.)	พีเอชเฉลี่ย
คลองประปา	160	80.6	8
แม่น้ำนครชัยศรี	48	92.4	7.9

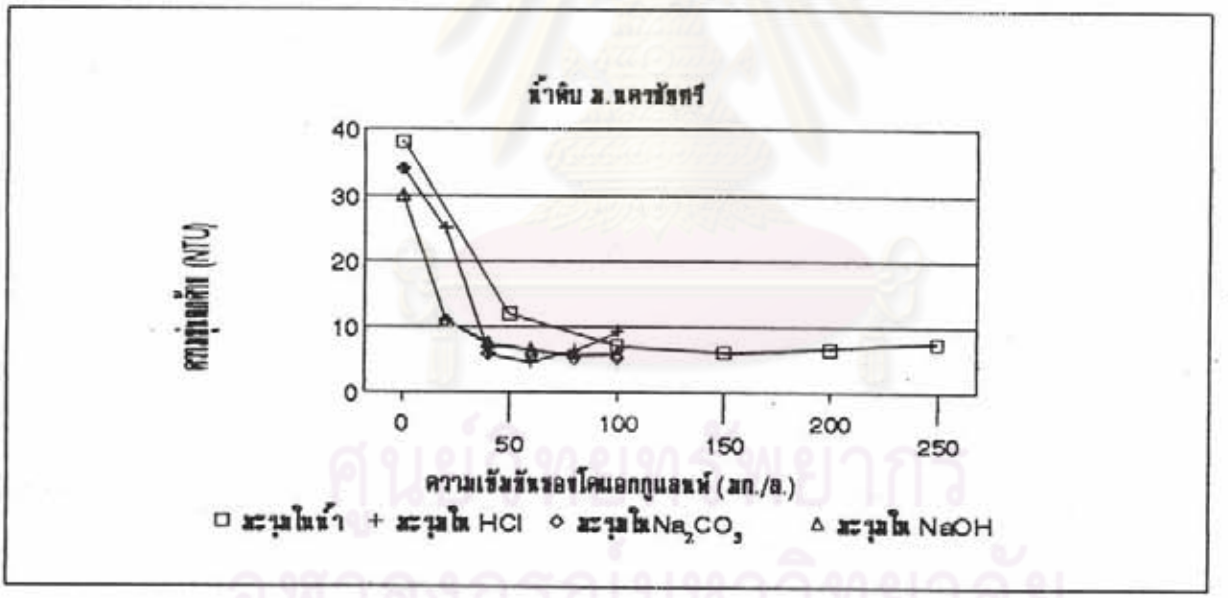
ซึ่งเมื่อนำเมล็ดมะรุมมาทดสอบการเป็นโคแอกกูแลนต์ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4 - 24 และรูปที่ 4 - 25 พบว่าเมื่อใช้เมล็ดมะรุมในปริมาณที่ไม่เกิน 40 มก./ล. ก็สามารถลดความขุ่นของน้ำให้เหลือต่ำกว่า 10 เอ็นทียู ได้ และประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของเมล็ดมะรุมสำหรับน้ำดิบจาก



รูปที่ 4–23 กราฟแสดงค่าความขุ่นของน้ำเมื่อใช้ตะกอนจากตะกอนในน้ำ HCl Na_2CO_3 และ NaOH ที่อายุ 0, 1 และ 2 เดือนเป็นโพแทสเซียมไดโครเมต

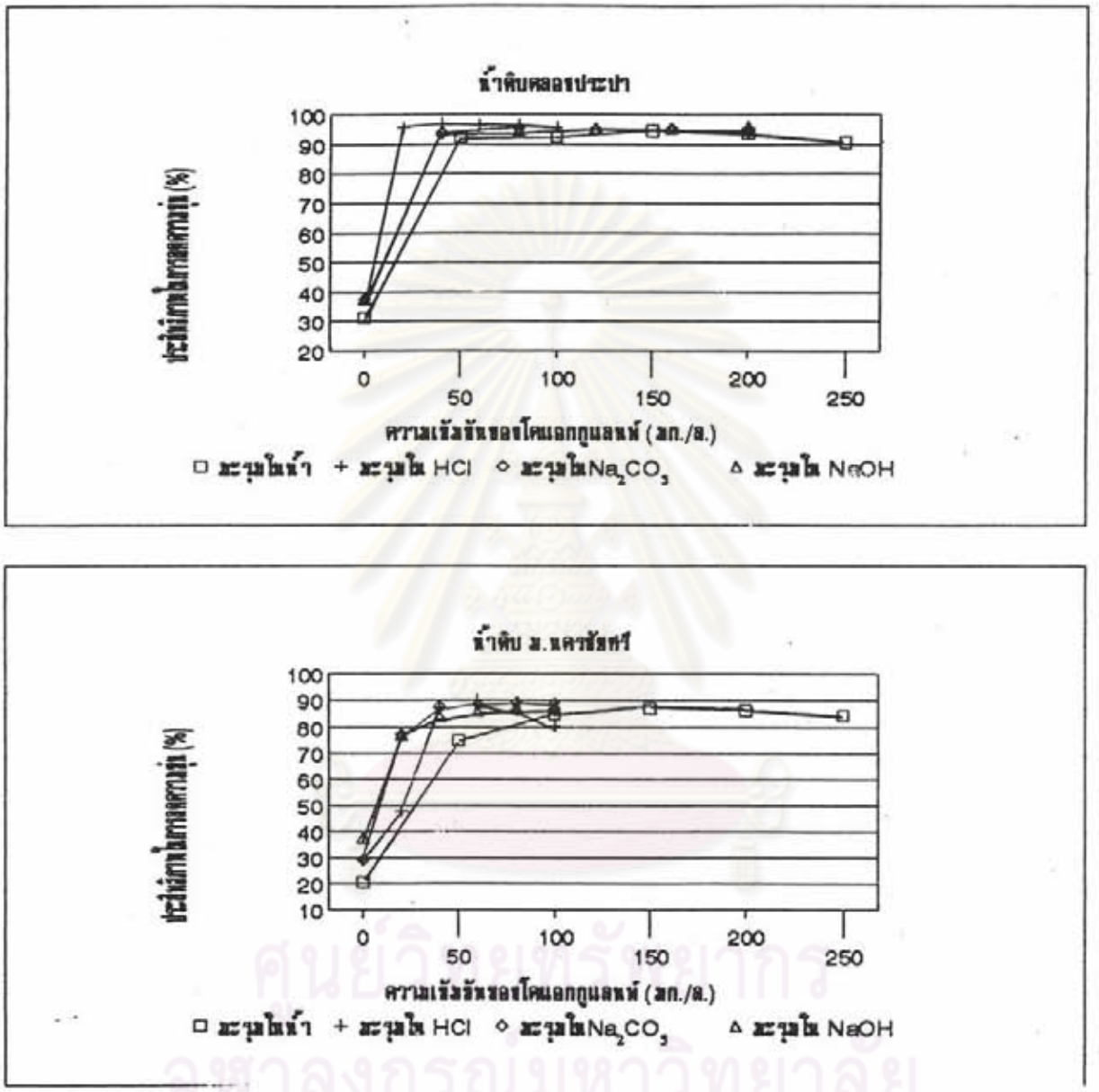
c:\thesis\table\coag.wk1





รูปที่ 4–24 ความขุ่นตกค้างของน้ำดิบจากธรรมชาติ เมื่อใช้มลัดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนท์

c:\thesis\table\coag.wk1



รูปที่ 4–25 ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของแม็คโครม สำหรับน้ำดิบจากธรรมชาติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คลองประปาสูงกว่าน้ำดิบจากแม่น้ำนครชัยศรี ทั้งนี้เพราะน้ำดิบจากคลองประปามีความขุ่นมากกว่า ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นกับประสิทธิภาพในการลดความขุ่นที่แปรผันตามกัน

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของน้ำดิบธรรมชาติกับน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่มีความขุ่นใกล้เคียงกัน พบว่าการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ในน้ำดิบธรรมชาติให้ค่าความขุ่นตกค้างต่ำกว่า ทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากน้ำดิบธรรมชาติมีอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ในปริมาณที่มากกว่าในน้ำขุ่นสังเคราะห์ เนื่องจากพบว่าอนุภาคดินในน้ำดิบธรรมชาติสามารถตกตะกอนได้เองถึง 30 - 35 % (เมื่อตั้งทิ้งไว้ 15 นาที) โดยไม่ต้องมีการเติมสารโคแอกกูแลนต์ ในขณะที่น้ำขุ่นสังเคราะห์ที่มีความขุ่นใกล้เคียงกันตกตะกอนได้ไม่เกิน 8% นอกจากนี้ยังอาจจะมีสาเหตุมาจากชนิดของดินในน้ำ เพราะดินที่ต่างชนิดกันจะมีความยากง่ายในการทำลายเสถียรภาพต่างกัน

การใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์สำหรับน้ำดิบธรรมชาตินี้ พบว่ามะรุมในกรดไฮโดรคลอริก มะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต และมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ใกล้เคียงกัน โดยมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพมากกว่าเล็กน้อย ส่วนมะรุมในน้ำมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด

6. การนำไปใช้งาน

การใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์สำหรับงานประปา ควรนำไปใช้ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูง เพราะจะให้ประสิทธิภาพดี อย่างไรก็ตามเมล็ดมะรุมก็ยังไม่สามารถลดความขุ่นให้ต่ำกว่า 10 เอ็นทียู (ค่าความขุ่นที่เหมาะสมสำหรับน้ำก่อนเข้าถังกรอง แต่เมล็ดมะรุมสามารถลดความขุ่นได้ถึง 40 - 90 % ดังนั้นการนำเมล็ดมะรุมไปใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ขั้นต้น (Pre-coagulant) เพื่อลดความขุ่นลงระดับหนึ่ง ก่อนที่จะมีการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ต่อไป จะช่วยให้สามารถลดปริมาณสารส้มที่จะต้องใช้ลงได้

ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการนำเมล็ดมะรุมไปใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ คือ กรดไฮโดรคลอริก 0.05 นอร์มอล เนื่องจากสามารถลดความขุ่นได้มากที่สุด โดยใช้ในปริมาณที่น้อยที่สุด นอกจากนี้ยังทำให้ได้ค่าพีเอชของน้ำใสอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ การใช้เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกนี้ทำลายค่าความเป็นด่างของน้ำ 0.11 มิลลิกรัมต่อปริมาณที่เติมลงไป 1 มิลลิกรัม ดังนั้นน้ำดิบที่จะนำมาใช้กับเมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกนี้ต้องมีค่าความเป็นด่างเพียงพอ เพื่อไม่ให้พีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงมากเกินไปจนยอมรับไม่ได้

การเก็บผงเมล็ดมะรุมนั้นสามารถเก็บไว้ได้นานถึง 2 เดือน โดยที่ประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์ไม่ลดลง แต่การนำผงเมล็ดมะรุมไม่ว่าจะมีอายุเท่าใดมาเตรียมให้เป็นโคแอกกูแลนต์เข้มข้น 2 % พบว่าการใช้ตัวทำละลายคนละชนิดจะมีเวลาการเก็บได้นานต่างกัน โดยเมล็ดมะรุมที่ละลายในกรดไฮโดรคลอริก เมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต และเมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเก็บไว้ได้นานประมาณ 5 วันที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสโดยไม่เน่าเสีย แต่เมล็ดมะรุมในน้ำนั้นเก็บไว้ได้เพียงวันเดียวก็จะเกิดกลิ่นเหม็น ดังนั้นการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ควรเตรียมวันต่อวันน่าจะเป็นการดีที่สุด

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของพีเอชพบว่า การใช้น้ำดิบโดยไม่มีการปรับพีเอชนั้นทำให้น้ำใสที่ได้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสม จึงไม่ต้องทำการปรับพีเอชของน้ำดิบเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ดีอีก

การใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอด

1. ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น

ในการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอดจะใช้ร่วมกับสารส้ม โดยใช้สารส้มในปริมาณ 50 และ 25 เปอร์เซนต์ของปริมาณที่เหมาะสม ลำดับของการเติมสารเคมีคือ ทำการเติมสารส้มก่อน หลังจากนั้นจึงเติมเมล็ดมะรุมในตัวทำละลายลงไป ตารางที่ 4 - 7 และ ตารางที่ 4 - 8 แสดงค่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในแต่ละความขุ่น จากการทดลองหาประจุของเมล็ดมะรุมในหัวข้อที่ 4 - 2 ซึ่งพบว่าเมล็ดมะรุมมีพฤติกรรมคล้ายประจุบวก ดังนั้นการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอดจึงเติมลงในขั้นตอนของการกวนเร็ว เมื่อทำการทดลองใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4 - 9 ตารางที่ 4 - 10 และรูปที่ 4 - 26 ถึง รูปที่ 4 - 29

จากการผลการทดลองพบว่าการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอดนั้นทำให้เกิดฟล็อคได้เร็วกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ฟล็อคที่ได้ก็มีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ดี (รูปที่ 4 - 30) การเติมเมล็ดมะรุมเพื่อเป็นโคแอกกูแลนต์เอดนั้นช่วยลดความขุ่นได้เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติหนึ่งของโพลีเมอร์ประจุบวก ในขณะที่การใช้โพลีเมอร์ประจุลบเป็นโคแอกกูแลนต์เอดจะช่วยในการเพิ่มขนาดของฟล็อคได้ แต่ไม่สามารถลดความขุ่นลงได้

ตารางที่ 4–7 ความขุ่นตกค้างเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนท์

ความขุ่น (NTU)	ความขุ่นตกค้าง (NTU) ความเข้มข้นของสารส้ม (มก./ล.)														
	0	2	4	5	6	8	10	12	14	15	16	18	20	25	30
20	20	19	19		13	8.5	4.5	2.8	2.2		2.5	1.7	1.5		
50	46			25			4.7			2.4			1.6		1.1
100	100	64	35		21	14	11	7.1	5.8		4.3	3.7	4	2.8	
200	170		34			13		6.1			3.5		3.3		1.5
300	300	87	43		27	19	12	8.9	8.2		6	6.1	5.4	3.6	
160 (น้ำดิบจากคลองประปา)	110	32	18		12	7.4	5.1	4.4	3.2		2.8	1.7	2.3	1.5	
48 (น้ำดิบจาก ม.นครพัยศรี)	40	34	28		20	14	10	9.4	6.9		6	5.2	4.4	3	

ตารางที่ 4–8 ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนท์

ความขุ่น (NTU)	ประสิทธิภาพในการลดความขุ่น (%) ความเข้มข้นของสารส้ม (มก./ล.)														
	0	2	4	5	6	8	10	12	14	15	16	18	20	25	30
20	0	5	5		35	58	78	86	89		88	92	93		
50	8			50			91			95			97		98
100	0	36	65		79	86	89	93	94		96	96	96	97	
200	15		83			94		97			98		98		99
300	0	71	86		91	94	96	97	97		98	98	98	99	
160 (น้ำดิบจากคลองประปา)	31	80	89		93	95	97	97	98		98	99	99	99	
48 (น้ำดิบจาก ม.นครพัยศรี)	17	29	42		58	71	79	80	86		88	89	91	94	

ตารางที่ 4–9 ความขุ่นเหลือค้างและประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้แป้งสตาร์ชดัดแปรโคแอกกูแลนท์เอด เมื่อใช้สารส้ม 50% ของปริมาณที่ระบายสม

ความขุ่น (NTU)	ชนิดของโคแอกกูแลนท์เอด	ความขุ่นเหลือค้าง (NTU)										ประสิทธิภาพในการลดความขุ่น (%)									
		ความเข้มข้นของโคแอกกูแลนท์เอด (มก./ล.)										ความเข้มข้นของโคแอกกูแลนท์เอด (มก./ล.)									
		0	20	40	50	60	80	100	150	200	250	0	20	40	50	60	80	100	150	200	250
20	ผสมในน้ำ	16			10			7.7	6.4	5.8	7.3	20			50			62	68	71	64
	ผสมในเกรดไฮโดรคลอริก	13	7.4	5.1		6.6	7.5	13				35	63	75		67	63	35			
	ผสมในไซเดียมคาร์บอเนต	16	13	12		15	17	15				20	35	40		25	15	25			
	ผสมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	10	8.1	6.7		7.3	6.3	9.3				50	60	67		64	69	54			
50	ผสมในน้ำ	13	8.5	7.2		7.4	8	8.4				74	87	86		85	84	83			
	ผสมในเกรดไฮโดรคลอริก	25	5.5	4.8		5.7	6.1	9.4				50	89	90		89	88	81			
	ผสมในไซเดียมคาร์บอเนต	27	8.3	10		15	13	15				46	83	80		70	74	70			
	ผสมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	20	7.1	8.8		13	8.6	8.8				60	86	82		74	83	82			
100	ผสมในน้ำ	18	12	18		18	24	32				82	88	82		82	76	68			
	ผสมในเกรดไฮโดรคลอริก	19	8.7	9.8		10	9.8	13				81	91	90		90	90	87			
	ผสมในไซเดียมคาร์บอเนต	17	12	12		14	18	19				83	88	88		86	82	81			
	ผสมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	18	14	13		14	14	18				82	86	87		86	86	82			
200	ผสมในน้ำ	24	21	14		15	14	14				88	90	93		93	93	93			
	ผสมในเกรดไฮโดรคลอริก	24	8.5	6		5.5	5.5	5.7				88	96	97		97	97	97			
	ผสมในไซเดียมคาร์บอเนต	32	18	20		23	28	27				84	91	90		89	86	87			
	ผสมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	32	17	21		24	25	23				84	92	90		88	88	89			
300	ผสมในน้ำ	29	21	21		26	29	31				90	93	93		91	90	90			
	ผสมในเกรดไฮโดรคลอริก	26	17	11		9	9.5	13				91	94	96		97	97	96			
	ผสมในไซเดียมคาร์บอเนต	24	14	14		13	18	20				92	95	95		96	94	93			
	ผสมในไซเดียมไฮดรอกไซด์	25	23	21		19	22	20				92	92	93		94	93	93			

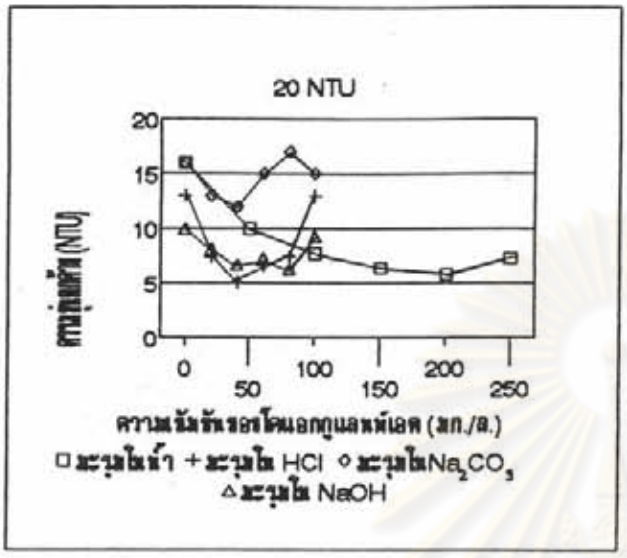
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

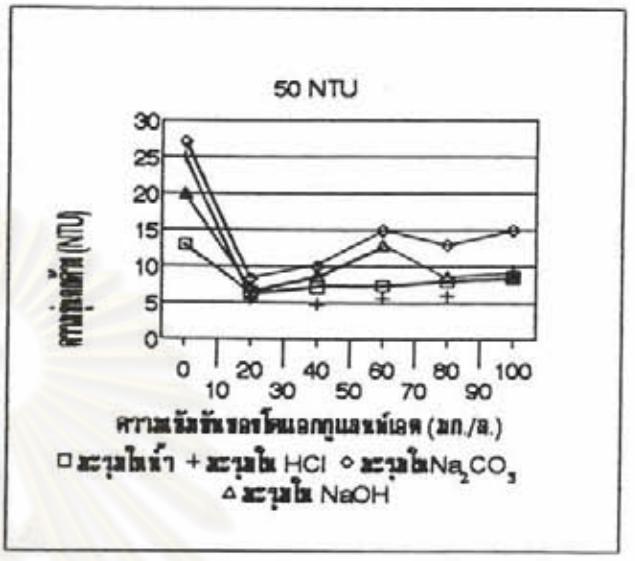
ตารางที่ 4–10 ความขุ่นเทียบค่าและประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้ผงถ่านกัมมันต์ในเอกภูแถบที่เลข เมื่อใช้สารส้ม 25 % ของปริมาณที่หมาะสม

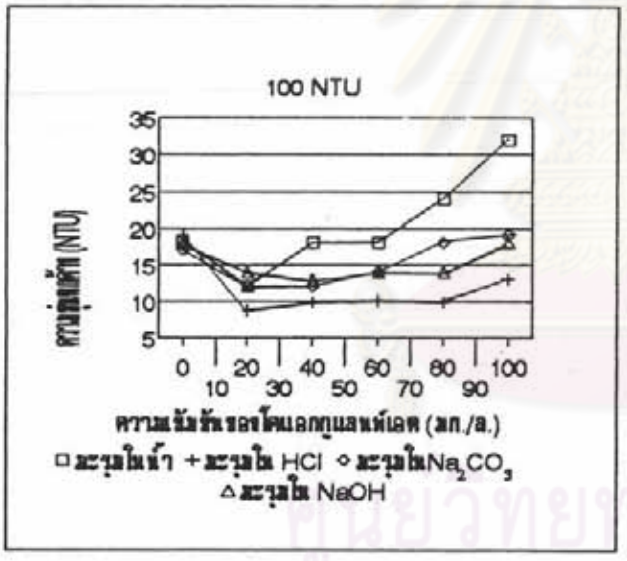
ความขุ่น (NTU)	ชนิดของโพลเอกภูแถบที่	ความขุ่นเทียบค่า (NTU)												ประสิทธิภาพในการลดความขุ่น (%)											
		ความเข้มข้นของโพลเอกภูแถบที่ (มก./ล.)												ความเข้มข้นของโพลเอกภูแถบที่ (มก./ล.)											
		0	20	40	60	80	100	120	160	200	300	400	500	0	20	40	60	80	100	120	160	200	300	400	500
20	มธรุมในน้ำ	20					14			10	5.5	5.4	4.3	0					30			50	73	73	79
	มธรุมในกรดไฮโดรคลอริก	19	17	10	7.2	8	11							5	15	50	64	60	45						
	มธรุมในโพลเดียมคาร์บอเนต	20	19	19	19	21	22							0	5	5	5	−5	−10						
	มธรุมในโพลเดียมไฮดรอกไซด์	20	19	19	19	16	15							0	5	10	5	20	25						
50	มธรุมในน้ำ	44		24		20		14	6.8	5.9				12		52		60		72	82	88			
	มธรุมในกรดไฮโดรคลอริก	45	12	7.3	5.5	6	7.9							10	76	85	89	88	84						
	มธรุมในโพลเดียมคาร์บอเนต	43		17		18		15	15	17				14		66		64		70	70	66			
	มธรุมในโพลเดียมไฮดรอกไซด์	44		20		19		16	15	14				12		60		62		68	70	72			
100	มธรุมในน้ำ	49	28	23	18	25	18							51	72	77	82	75	82						
	มธรุมในกรดไฮโดรคลอริก	45	19	14	12	11	15							55	81	86	88	89	85						
	มธรุมในโพลเดียมคาร์บอเนต	42	26	24	20	33	38							58	74	78	80	67	62						
	มธรุมในโพลเดียมไฮดรอกไซด์	40	29	32	28	27	27							60	71	68	72	73	73						
200	มธรุมในน้ำ	50		23		20		19	18	20				75		89		90		91	91	90			
	มธรุมในกรดไฮโดรคลอริก	74	17	13	7	7.4	6.9							63	92	94	97	96	97						
	มธรุมในโพลเดียมคาร์บอเนต	69	31	30	35	34	32							66	85	85	83	83	84						
	มธรุมในโพลเดียมไฮดรอกไซด์	73	39	41	36	36	35							64	91	90	92	82	93						
300	มธรุมในน้ำ	64	46	34	34	30	31							79	85	89	89	90	90						
	มธรุมในกรดไฮโดรคลอริก	64	20	15	13	14	14							79	93	95	96	95	95						
	มธรุมในโพลเดียมคาร์บอเนต	67	29	33	28	29	32							79	90	89	91	90	89						
	มธรุมในโพลเดียมไฮดรอกไซด์	58	45	35	29	34	37							81	85	88	91	89	88						

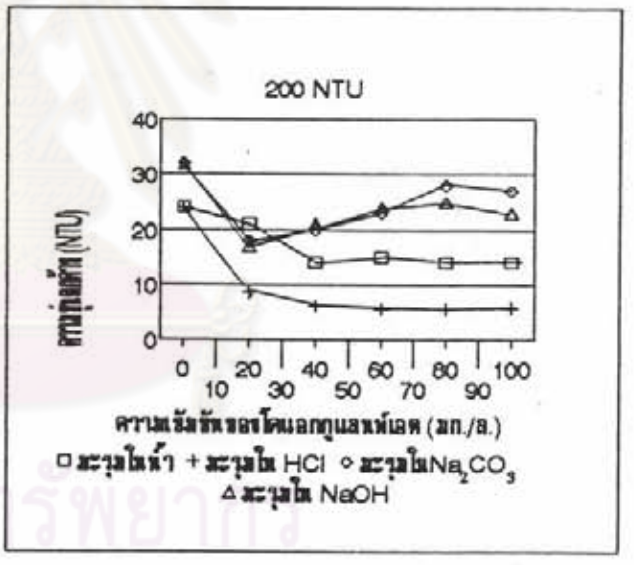
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

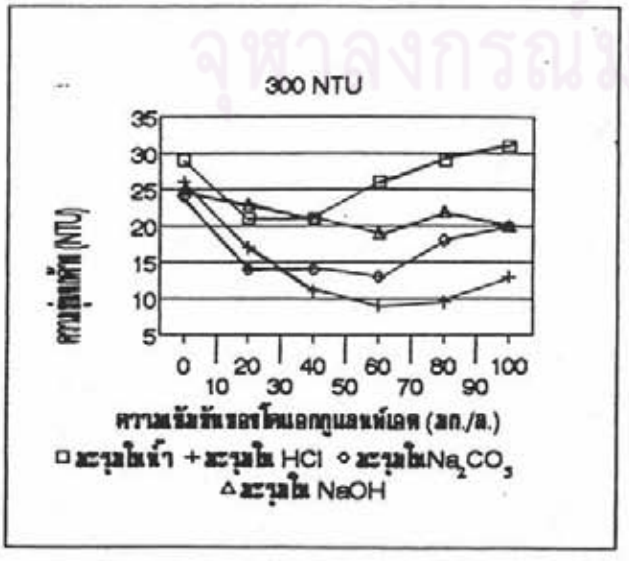
c:\thesis\table\coagaid.wk1







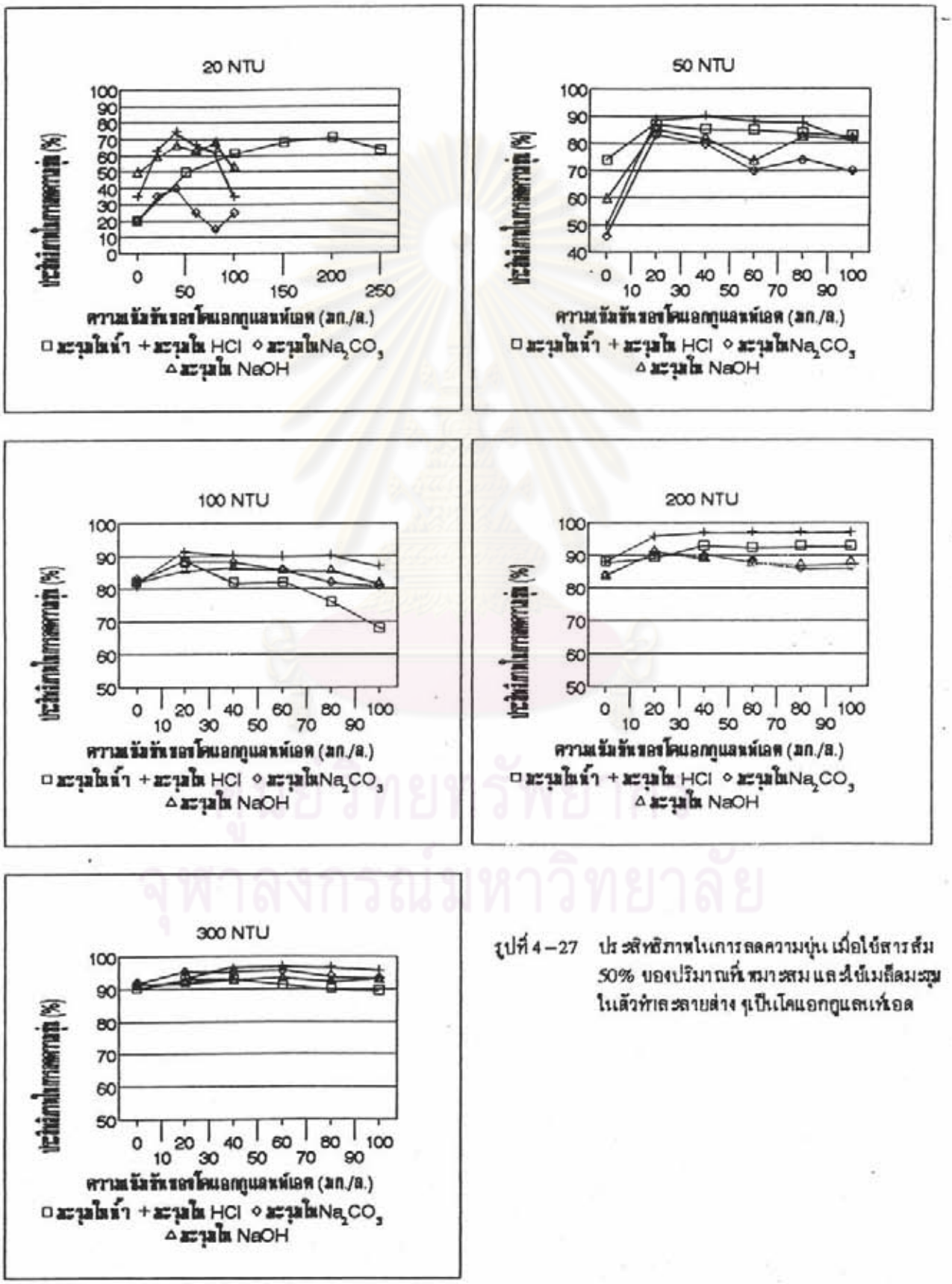




รูปที่ 4–26 ความขุ่นเหลือค้างของน้ำขุ่นสังเคราะห์เมื่อใช้สารเจือ 50 % ของปริมาณที่เหมาะสม และโซเดียมอลูมิเนต

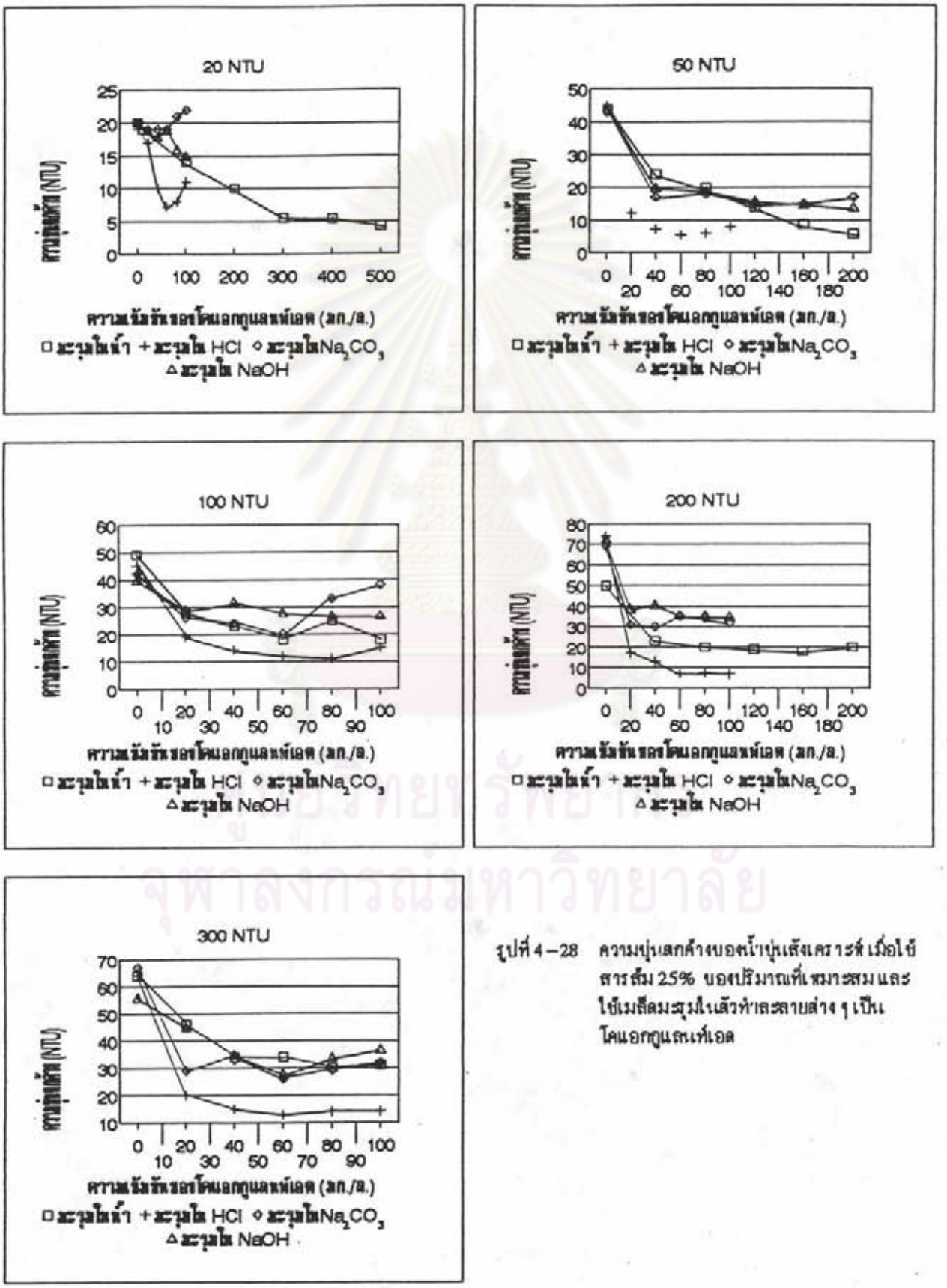
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

c:\thesis\table\coagaid.wk1



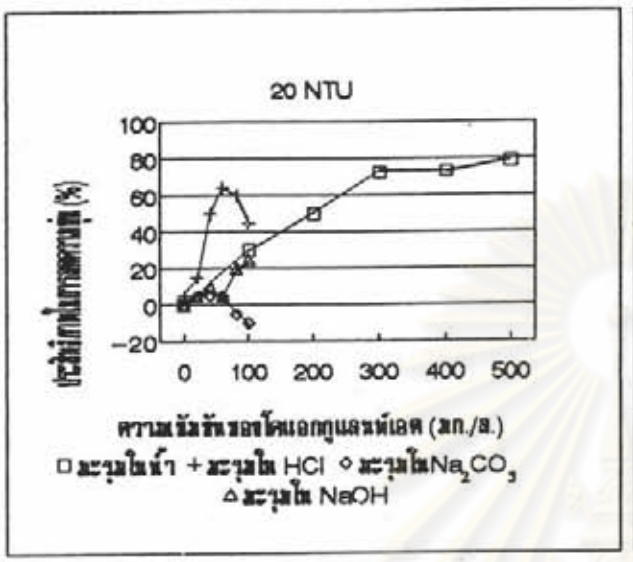
รูปที่ 4 – 27 ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้สารส้ม 50% ของปริมาณที่เหมาะสม และใช้โมลิมะซุมในตัวทำละลายต่าง ๆ เป็นโคแอกกูแลนท์เอด

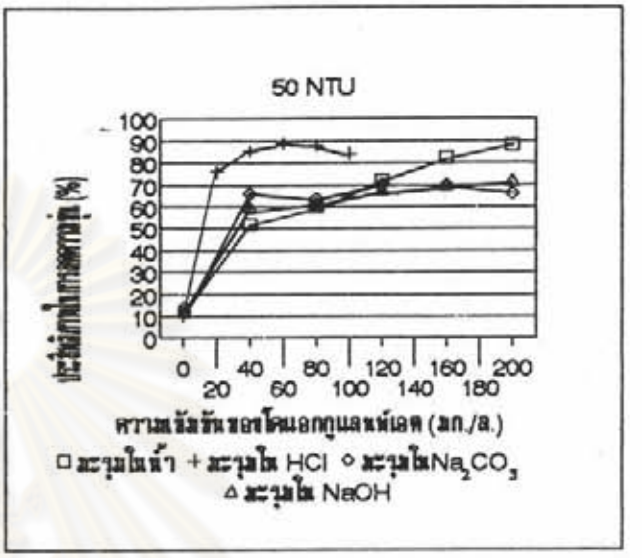
c:\thesis\table\coagaid.wk1

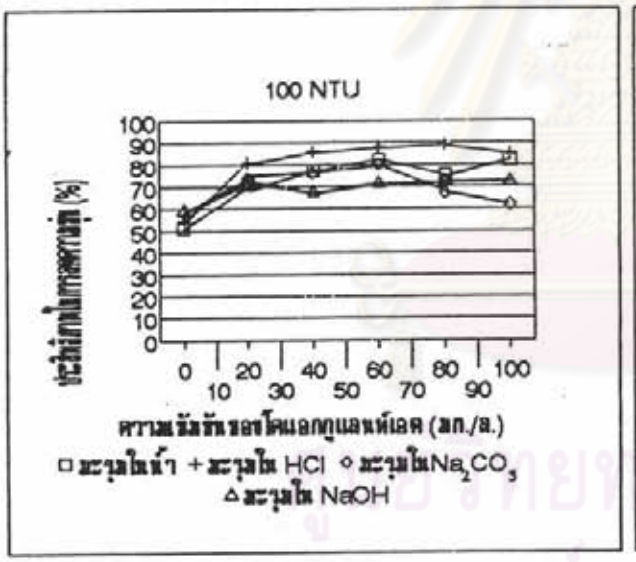


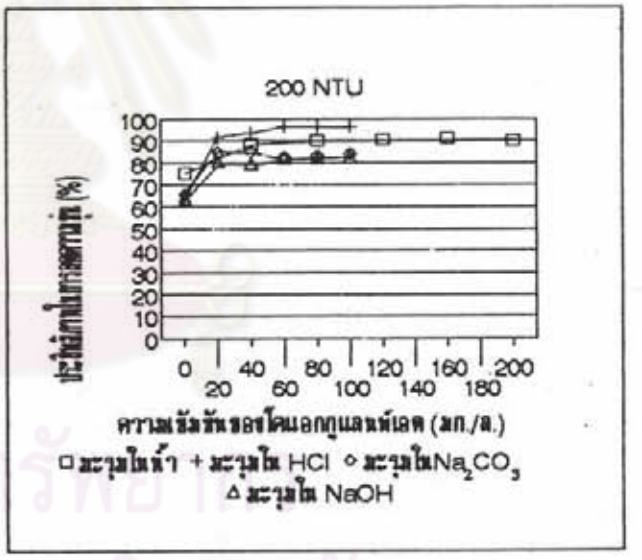
รูปที่ 4–28 ความขุ่นเหลือของน้ำขุ่นเสียเมื่อใช้สารส้ม 25% ของปริมาณที่เหมาะสม และใช้เมล็ดมะรุมในรูปต่าง ๆ เป็นโคแอกกูแลนท์เอด

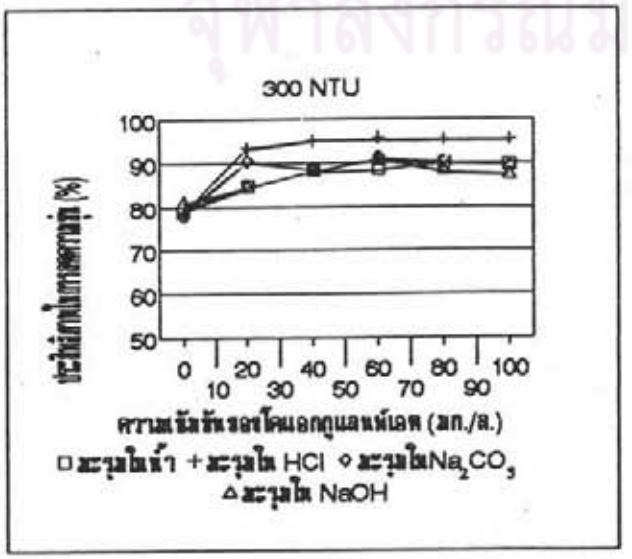
c:\thesis\table\coagaid.wk1



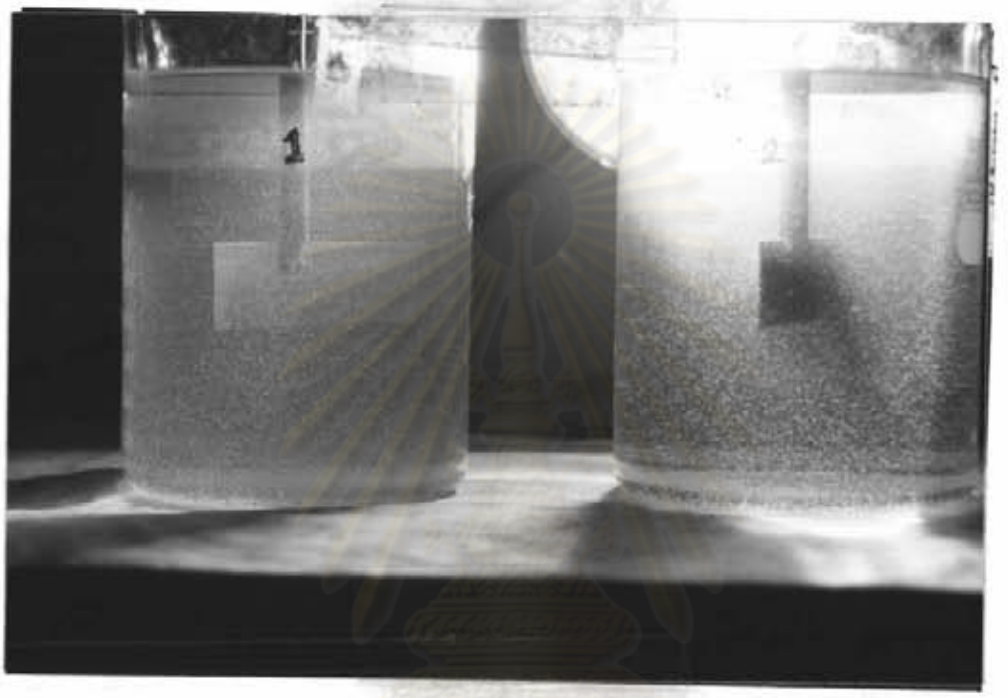








รูปที่ 4–29 ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้สารส้ม 25% ของปริมาณที่เหมาะสม และใช้เมล็ดมะรุมในตัวทำละลายต่าง ๆ เป็นโคแอกกูแลนท์เอด



รูปที่ 4 - 30 ลักษณะฟล้อคเมื่อมีการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอด
1) เติมสารส้มอย่างเดียว 2) เติมเมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

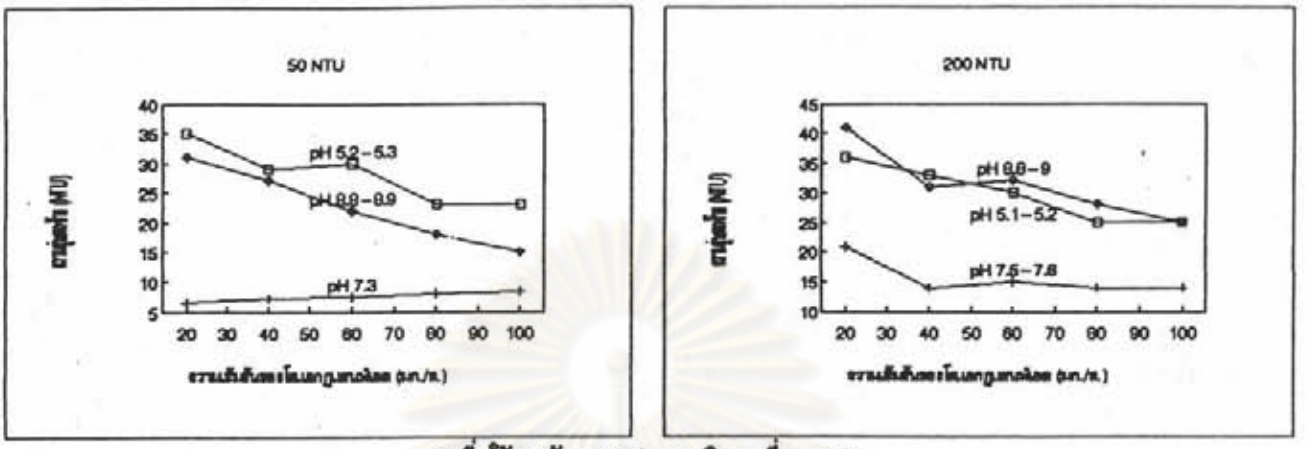
เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพน้ำที่ได้ในกรณีที่ใช้สารส้ม 50 เปอร์เซนต์ของปริมาณที่เหมาะสม พบว่าที่ความขุ่นต่ำ คือ 20 และ 50 เอ็นทียู การใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอดช่วยทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเมื่อไม่มีการเติมโคแอกกูแลนต์เอดได้อีกประมาณ 25 - 30 เปอร์เซนต์ ในขณะที่ความขุ่นตั้งแต่ 100 เอ็นทียู ขึ้นไปนั้นเพิ่มประสิทธิภาพได้เพียง 5 - 10 เปอร์เซนต์เท่านั้น การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกลไกที่สารส้มใช้ทำลายเสถียรภาพของอนุภาคความขุ่นในน้ำ เป็นกลไกการจับอนุภาคไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น ซึ่งที่ความขุ่นต่ำสารส้มจะทำงานได้ไม่ดี เพราะมีเป้าสัมผัสน้อย ทำให้การจับอนุภาคเกิดได้ไม่ดี การเติมเมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอดอาจเป็นการเพิ่มเป้าสัมผัส ทำให้สารส้มทำลายเสถียรภาพได้ดีขึ้น หรือในอีกกรณีหนึ่งการเติมเมล็ดมะรุมลงไปเท่ากับเป็นการเพิ่มสารโคแอกกูแลนต์ที่จะไปจับกับเป้าสัมผัสเพื่อทำลายเสถียรภาพ ที่ความขุ่นสูงเป้าสัมผัสจะมากขึ้น สารส้มสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพอยู่แล้ว การเติมเมล็ดมะรุมลงไปอีกจึงกำจัดความขุ่นได้อีกเพียงเล็กน้อย เมื่อใช้สารส้ม 25 เปอร์เซนต์ของปริมาณที่เหมาะสม พบว่าการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอดจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความขุ่นได้มากกว่าการใช้สารส้มอย่างเดียวเช่นกัน แต่ความขุ่นตกค้างยังอยู่ในเกณฑ์ที่สูง

เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกเป็นโคแอกกูแลนต์เอดชนิดเดียวที่ทำให้สามารถลดความขุ่นได้ต่ำกว่า 10 เอ็นทียู ได้ในทุกความขุ่น ในขณะที่เมล็ดมะรุมในน้ำ เมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต และเมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ลดความขุ่นให้ได้ตามเกณฑ์เมื่อความขุ่นต่ำกว่า 100 เอ็นทียู เท่านั้น ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่ากลไกหลักของการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ของเมล็ดมะรุมคือ กลไกสะพานเชื่อม เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกซึ่งมีโปรตีนละลายอยู่มากที่สุด จึงสามารถทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ได้มาก อีกทั้งยังได้ฟล็อคที่มีขนาดใหญ่กว่า ทำให้ตกตะกอนได้ดี คุณภาพน้ำใสที่ได้จึงดีกว่า

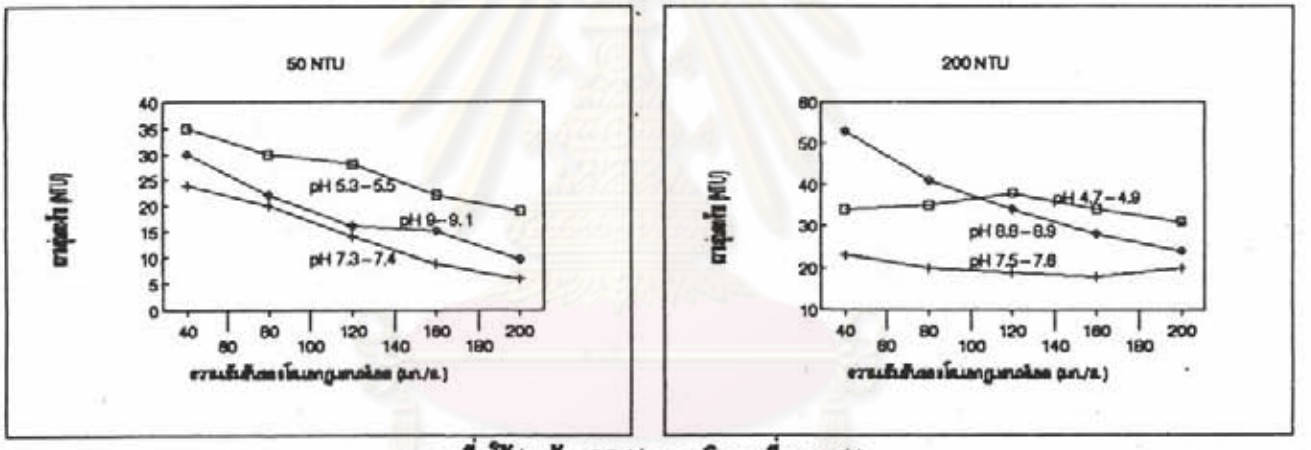
2. อิทธิพลของพีเอช

เมื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับประสิทธิภาพของการเป็นโคแอกกูแลนต์เอดของเมล็ดมะรุม ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4 - 31 ถึงรูปที่ 4 - 34 เห็นได้ว่าเมื่อใช้เมล็ดมะรุมในน้ำและเมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกเป็นโคแอกกูแลนต์เอด พีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.8 - 7.5 ส่วนการใช้เมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ พีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 7.5 - 9 และน้ำดิบที่ทำให้เกิดช่วงพีเอชที่เหมาะสมนั้น เป็นน้ำดิบที่ไม่มีการปรับพีเอช

การวิเคราะห์ผลในการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ โดยมีเมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอด แยกพิจารณาได้เป็น 2 กรณี กรณีแรกพิจารณาถึงผลของพีเอชที่มีต่อการใช้สารส้ม ปริมาณสารส้มที่ใช้ในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 2 - 6 มก/ล ซึ่งจาก Stability Diagram ของสารส้ม



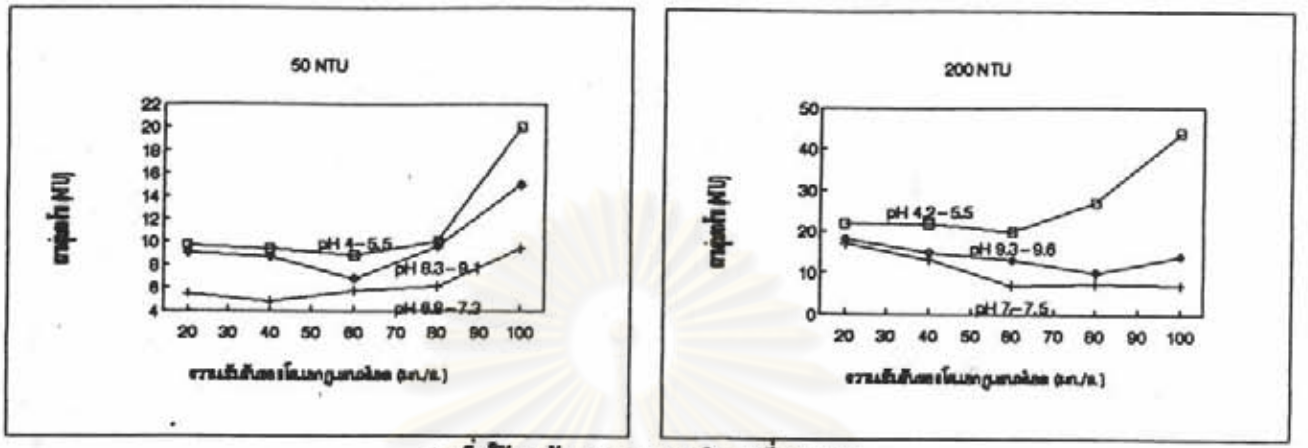
ก เมื่อใช้สารส้ม 50 % ของปริมาณที่เหมาะสม



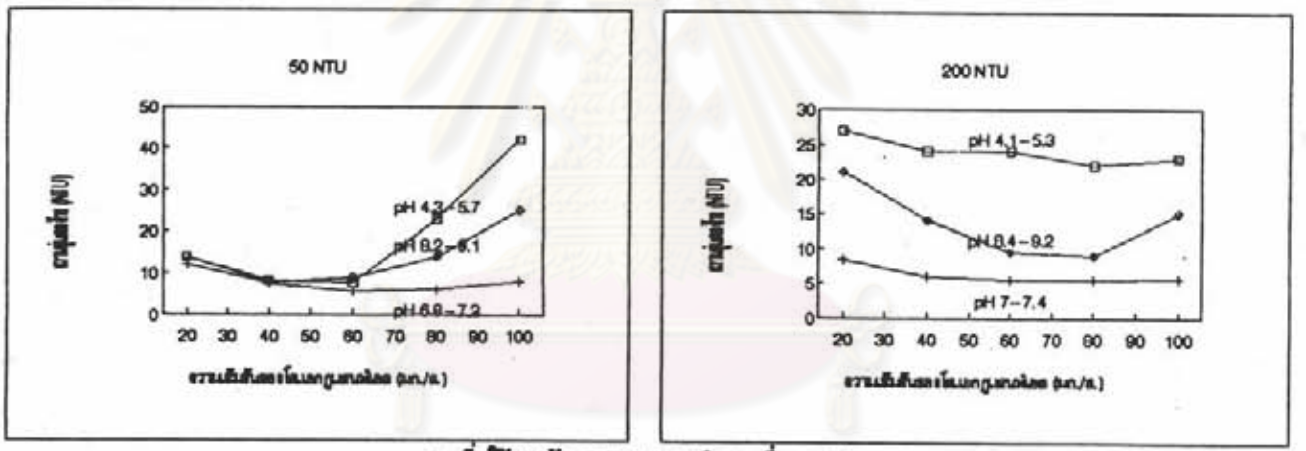
ข เมื่อใช้สารส้ม 25 % ของปริมาณที่เหมาะสม

รูปที่ 4-31 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นตกค้างกับเวลาเมื่อใช้สารส้มในน้ำเป็นโพลิเมอร์ช่วยในการตกตะกอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



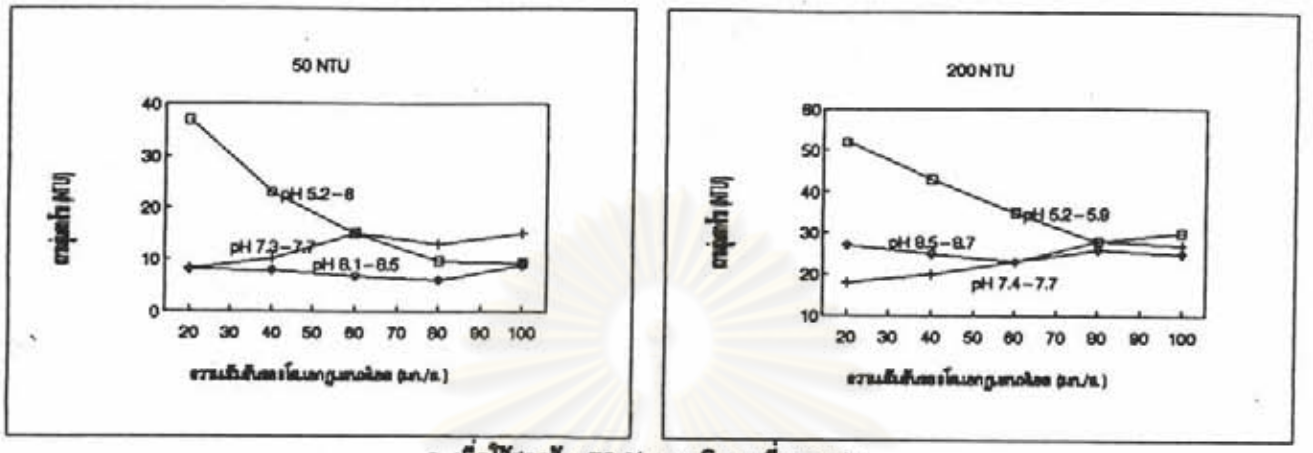
ก. เมื่อใช้สารส้ม 50 % ของปริมาณที่เหมาะสม



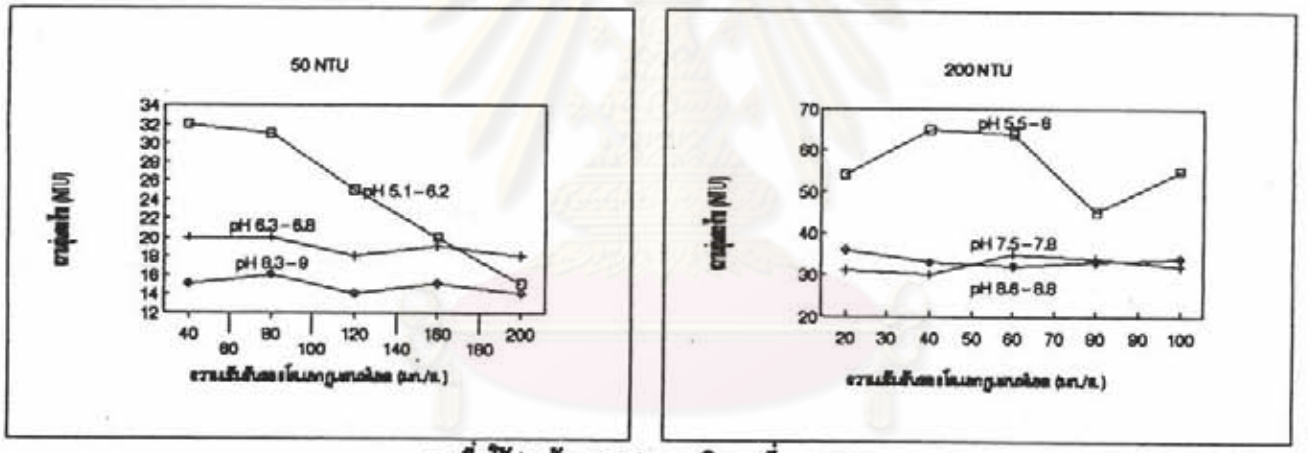
ข. เมื่อใช้สารส้ม 25 % ของปริมาณที่เหมาะสม

รูปที่ 4-32 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นเหลือค้างกับพีเอชเมื่อใช้ระบบในการไฮโดรลอริสเป็นโพลีอลูมินัมคลอไรด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



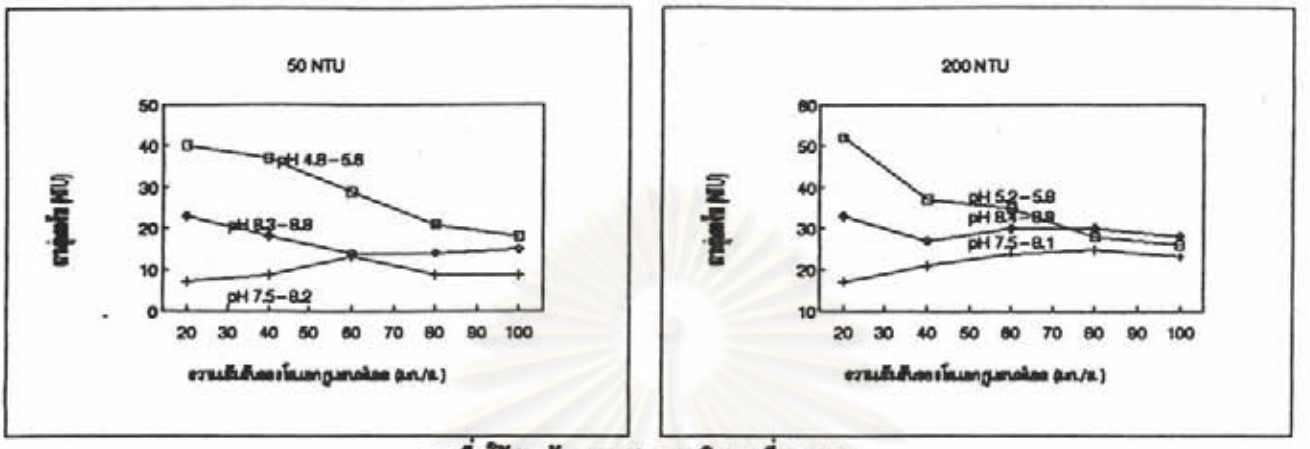
ก. เมื่อใช้สารส้ม 50 % ของปริมาณที่เหมาะสม



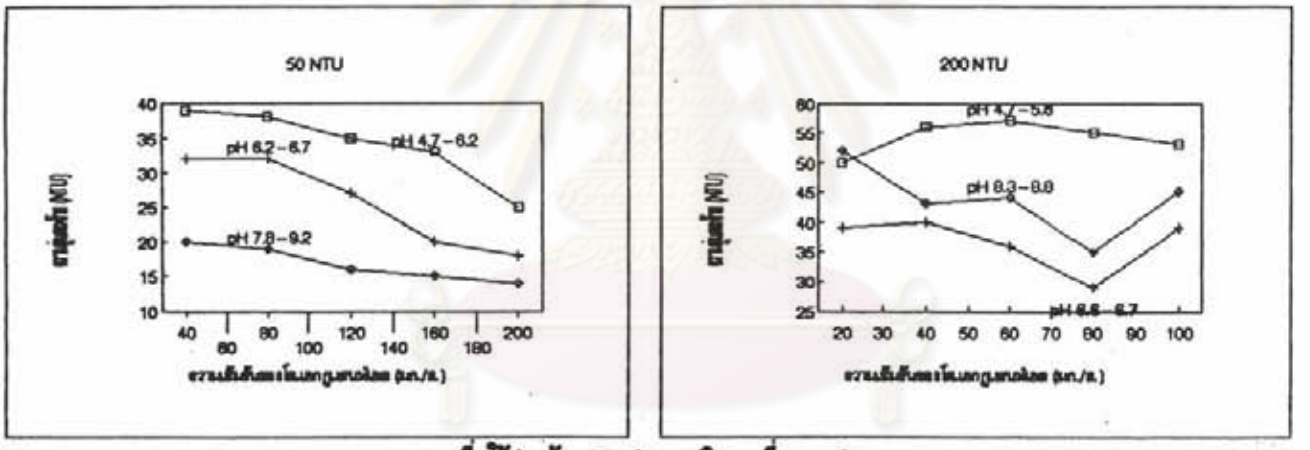
ข. เมื่อใช้สารส้ม 25 % ของปริมาณที่เหมาะสม

รูปที่ 4-33 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นของน้ำผสมกับดินเหนียวเมื่อใช้สารส้มในโซเดียมคาร์บอเนตเป็นโคแอกกูแลนต์เอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก. เมื่อใช้สารส้ม 50 % ของปริมาณที่เหมาะสม



ข. เมื่อใช้สารส้ม 25 % ของปริมาณที่เหมาะสม

รูปที่ 4–34 ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นตกค้างกับพีเอชเมื่อใช้สารส้มในไซเตียมไฮดรอกไซด์เป็นโพแทสเซียมไดคาร์บอเนต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารส้มที่ใช้ในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 2 - 6 มก./ล. ซึ่งจาก Stability Diagram ของสารส้มพบว่าสารส้มในปริมาณดังกล่าวจะเกิดการตกผลึกของ $Al(OH)_3$ ได้ที่พีเอชประมาณ 6.5 - 7.5 ส่วนกรณีที่ 2 พิจารณาถึงผลของพีเอชต่อการใช้เมล็ดมะรุม ซึ่งจากหัวข้อ 4.3.2 พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6 - 9.5 ดังนั้นในการใช้สารส้มร่วมกับเมล็ดมะรุมจึงมีพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.8 - 9 ดังผลการทดลองที่ได้

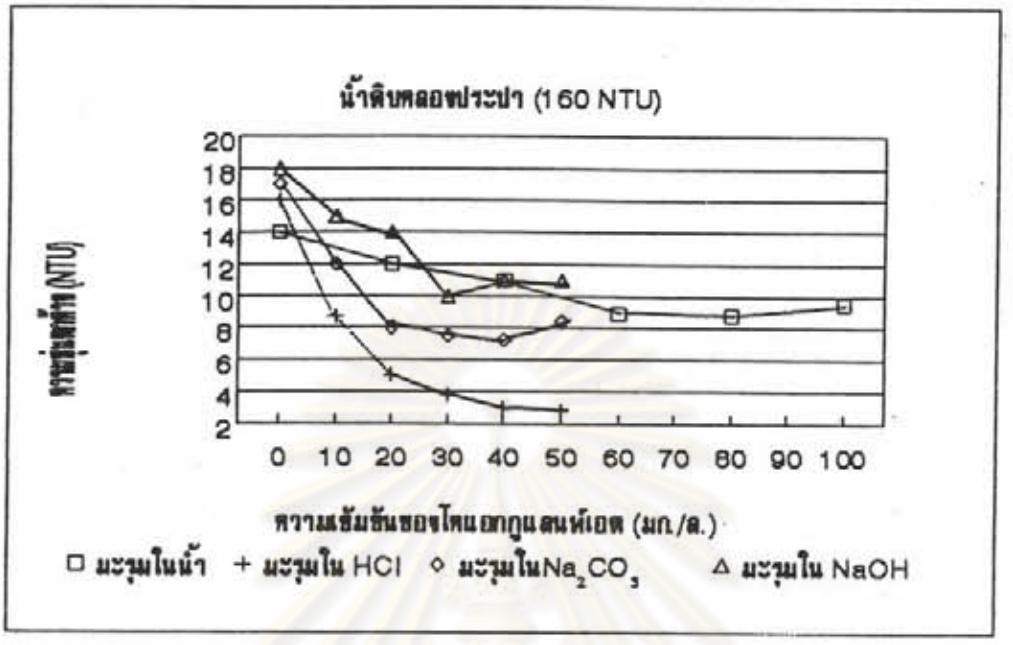
3. การทดสอบกับน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

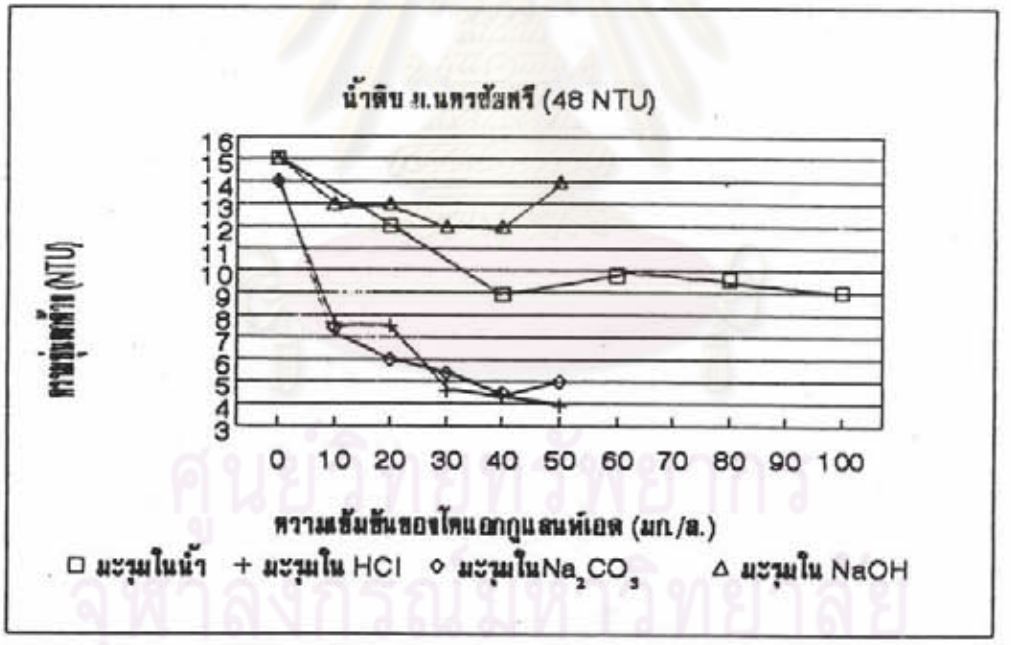
รูปที่ 4 - 35 และรูปที่ 4 - 36 แสดงค่าความขุ่นตกค้าง รูปที่ 4 - 37 และรูปที่ 4 - 38 แสดงค่าประสิทธิภาพในการลดความขุ่น เมื่อใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอดในน้ำดิบธรรมชาติ จากการทดลองเมล็ดมะรุมสามารถลดความขุ่นให้เหลือต่ำกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวได้ โดยใช้ในปริมาณเพียงครึ่งเดียวของปริมาณที่เหมาะสมเมื่อใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ก็ ก็สามารถลดความขุ่นให้ต่ำกว่า 10 เอ็นทียู ได้

การใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอดทำให้เกิดฟล็อคได้เร็วกว่าและมีขนาดใหญ่กว่าการตกตะกอนจึงดีกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของเมล็ดมะรุมในตัวทำละลายต่าง ๆ เห็นได้ว่าเมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากกำจัดความขุ่นได้มากที่สุด โดยใช้ปริมาณที่น้อยกว่าหรือเท่ากับเมล็ดมะรุมในตัวทำละลายอื่น รองลงมาคือเมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต เมล็ดมะรุมในน้ำ และเมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามลำดับ

4. การนำไปใช้งาน

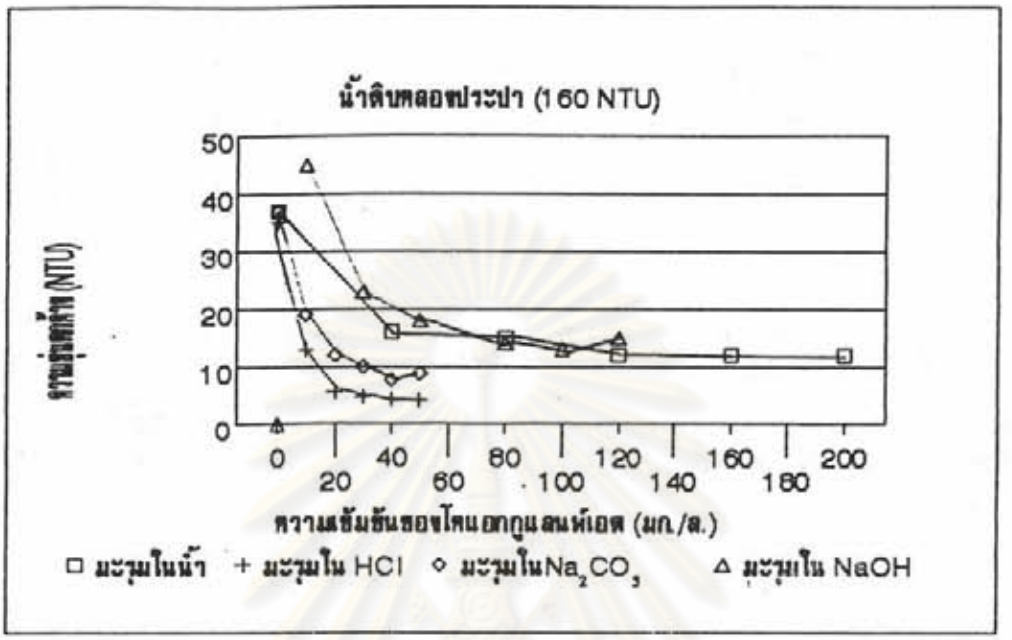
จากการทดลองพบว่า การใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอดมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้สารส้มหรือเมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เพียงอย่างเดียว สามารถลดความขุ่นได้ดี และให้ค่าความขุ่นตกค้างที่ต่ำกว่า 10 เอ็นทียู ได้ การใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอดช่วยลดปริมาณสารส้มที่ต้องใช้ได้ 50 เปอร์เซนต์แต่การลดปริมาณสารส้มลงถึง 75 เปอร์เซนต์นั้นถึงแม้ยังสามารถลดความขุ่นได้ดี แต่ความขุ่นตกค้างที่ได้ยังสูงกว่าค่าที่เหมาะสม คือ 10 เอ็นทียู การที่ลดปริมาณสารส้มที่ต้องใช้ไปถึง 50 เปอร์เซนต์นั้นช่วยทำให้ประหยัดปริมาณสารส้มที่ต้องเติมไปได้มาก โดยเฉพาะในระบบประปาที่มีขนาดใหญ่

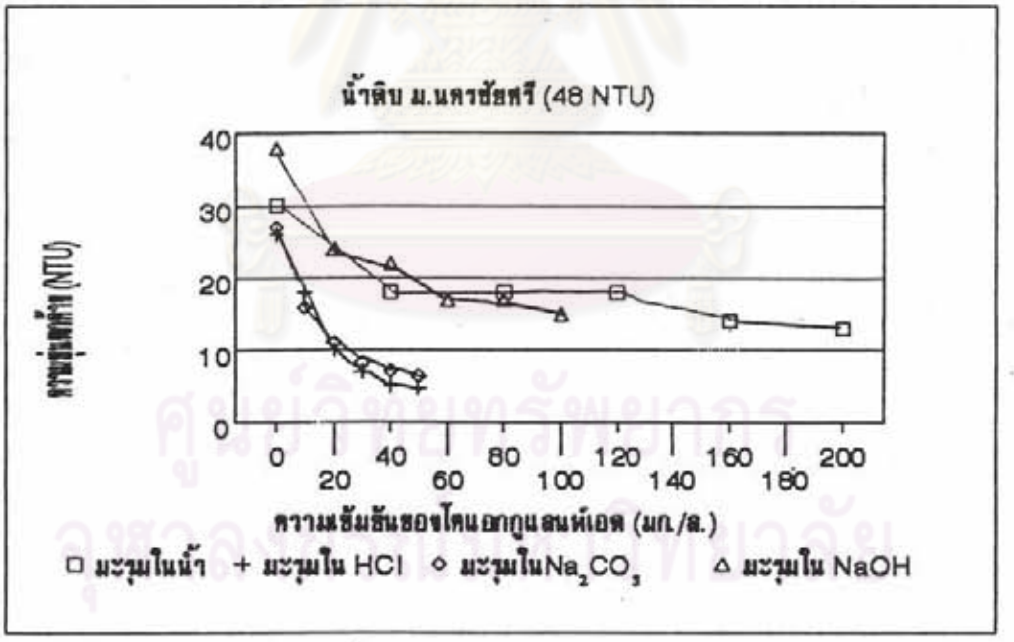




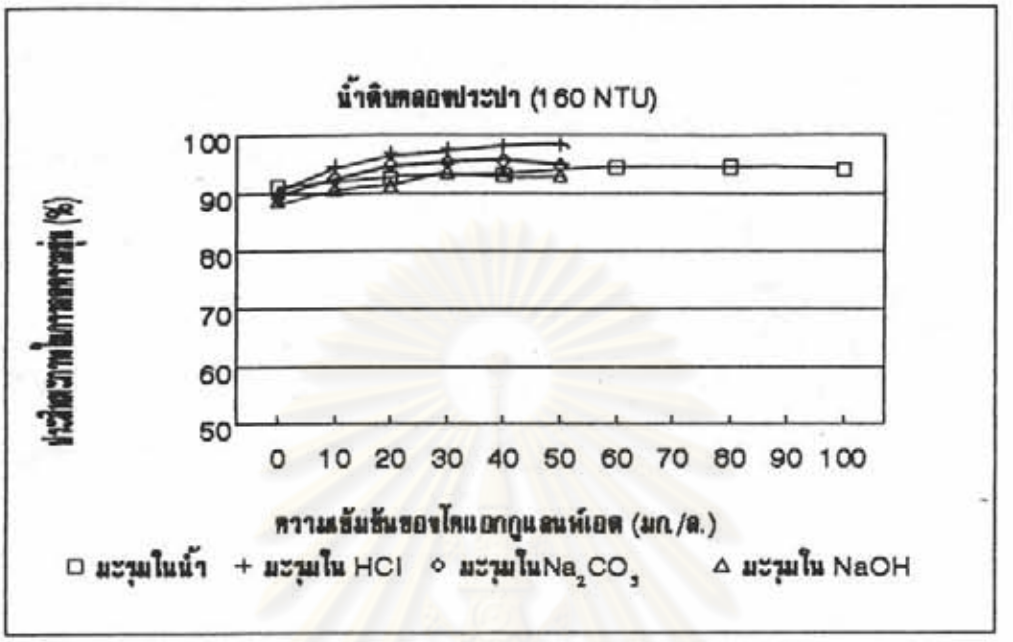
รูปที่ 4–35 ความขุ่นหลังตกตะกอนเมื่อใช้สารส้ม 50% ของปริมาณที่เหมาะสมและใช้มะรุมเป็นโคแอกกูแลนท์เอด

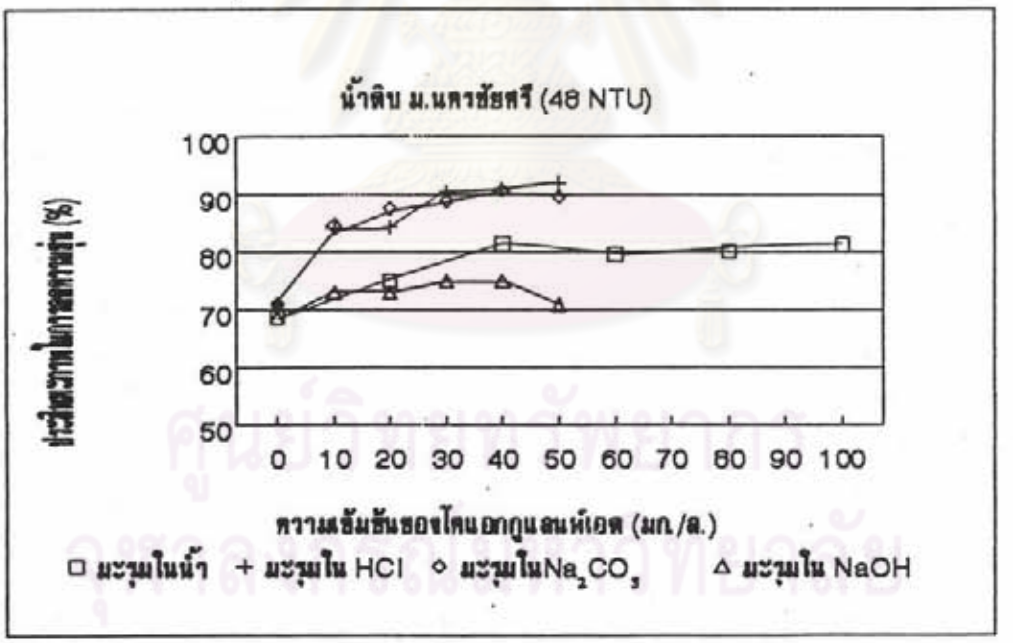
c:\thesis\table\coagaid.wk1





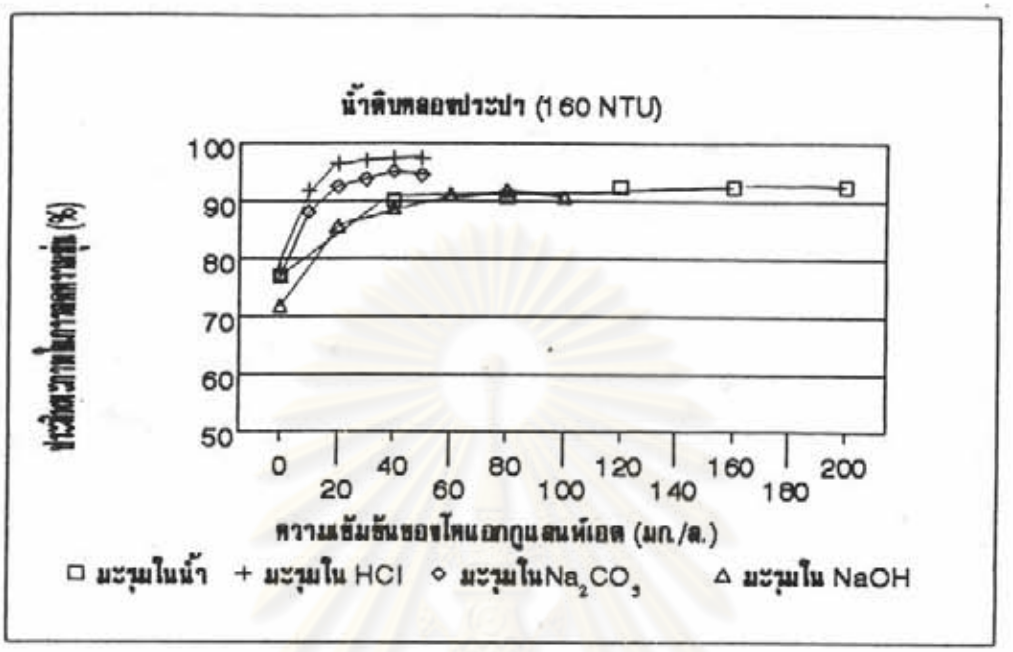
รูปที่ 4–36 ความขุ่นหลังการตกตะกอนเมื่อใช้สารส้ม 25% ของปริมาณที่เหมาะสมและใช้มะรุมเป็นโซเดียมอลูมิเนต

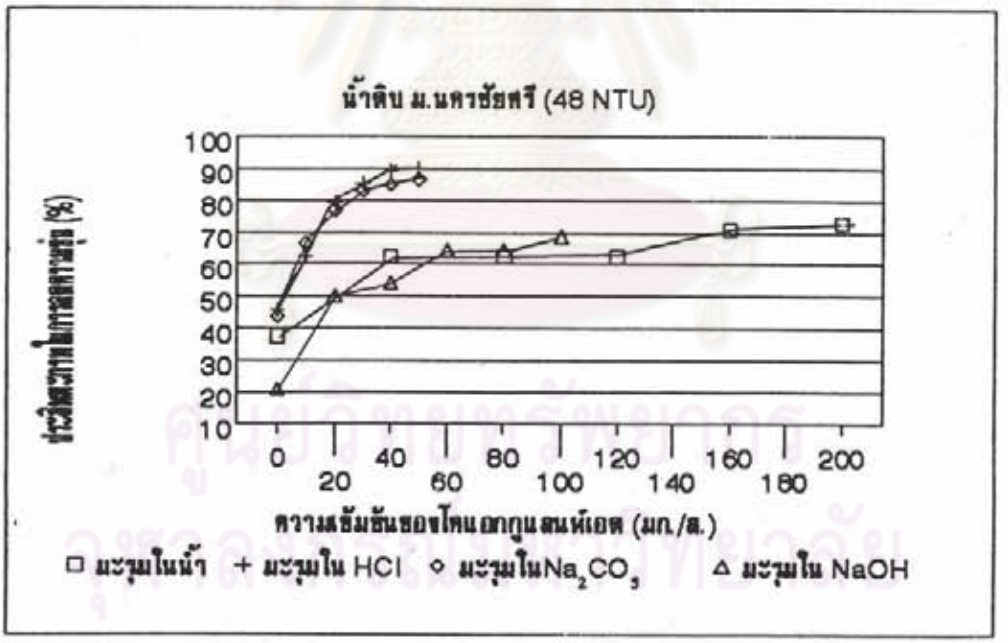




รูปที่ 4–37 ประสิทธิภาพในการลดความขุ่น เมื่อใช้สารส้ม 50% ของปริมาณที่เหมาะสมและใช้มะรุมเป็นไคแอกกูแลนห์เอด

c:\thesis\table\coagaid.wk1





รูปที่ 4–38 ประสิทธิภาพในการลดความขุ่น เมื่อใช้สารส้ม 25% ของปริมาณที่เหมาะสมและใช้มะรุมเป็นโคแอกกูแลนท์เอด

เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกเป็นโคแอกกูแลนต์เอดที่ดีที่สุด เนื่องจากกำจัดความขุ่นได้มาก โดยใช้ปริมาณที่ใกล้เคียงกับเมล็ดมะรุมในตัวทำละลายอื่น ๆ

การใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับเมล็ดมะรุม

1. ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น

เนื่องจากเมล็ดมะรุมเป็นโพลีเมอร์ประจุบวกและสามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ได้ จึงทำการศึกษาถึงการใช้เมล็ดมะรุมร่วมกับสารส้มในอีกรูปแบบหนึ่ง คือใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เอด เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับกรณีที่ใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอด (หรือเมื่อเติมสารส้มก่อน) ตารางที่ 4 - 11 รูปที่ 4 - 39 และรูปที่ 4 - 40 แสดงผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเห็นว่าการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เอดทำให้เกิดฟล็อคได้เร็ว และมีขนาดใหญ่กว่าการใช้เมล็ดมะรุมเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังสามารถลดความขุ่นให้เหลือต่ำกว่า 10 เอ็นทียู ได้ โดยใช้ปริมาณสารส้มในช่วง 4 - 10 มก./ล. ในการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เอดนั้นพบว่า เมื่อความขุ่นสูงขึ้นปริมาณสารส้มที่เหมาะสมจะสูงขึ้นด้วย

2. การทดสอบกับน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

จากผลการทดลองที่ได้แสดงมาแล้วในตารางที่ 4 - 11 รูปที่ 4 - 39 และรูปที่ 4 - 40 จะเห็นว่าผลที่ได้เหมือนกับการใช้กับน้ำขุ่นสังเคราะห์ คือการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เอดช่วยกำจัดความขุ่นได้มากกว่าการใช้เมล็ดมะรุมเพียงอย่างเดียว และช่วยประหยัดปริมาณมะรุมที่ต้องใช้ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้สารส้มในน้ำดิบจากคลองประปาซึ่งมีความขุ่น 160 เอ็นทียู ให้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเมื่อใช้กับน้ำดิบจากแม่น้ำนครชัยศรีที่มีความขุ่น 48 เอ็นทียู ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลองโดยใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์

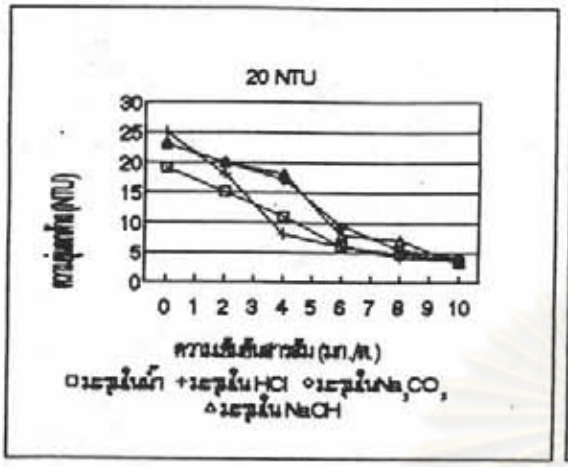
3. การนำไปใช้งาน

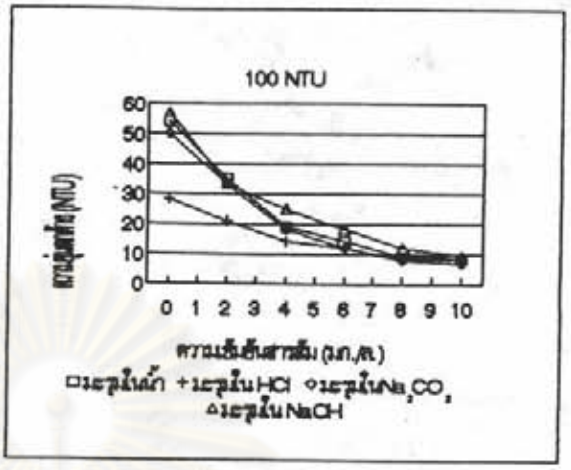
เมื่อพิจารณาในแง่ของการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับเมล็ดมะรุม พบว่าสามารถประหยัดปริมาณเมล็ดมะรุมได้ประมาณ 50 เปอร์เซนต์ โดยที่ประสิทธิภาพของการกำจัดความขุ่นจะสูงขึ้น แต่ปริมาณสารส้มที่ต้องใช้นั้น ถือว่าสูงเพราะใช้ในปริมาณ 4 - 10 มก./ล. ในขณะที่การใช้สารส้มในช่วง 8 - 12 มก./ล.เป็นโคแอกกูแลนต์เพียงอย่างเดียวก็สามารถลดความขุ่นได้

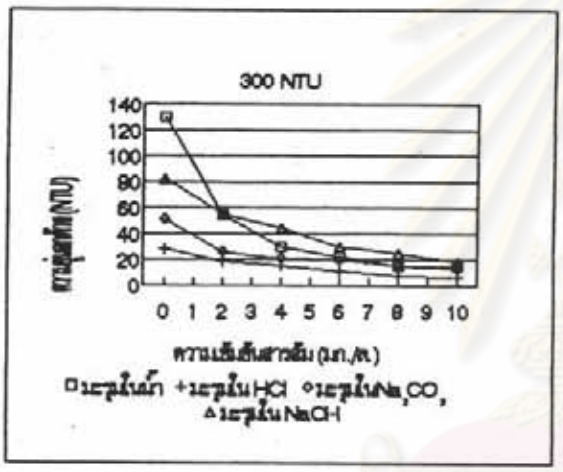
ตารางที่ 4–11 ความขุ่นเหลือค้างและประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้สารรวม 50% ของปริมาณที่เหมาะสม และใช้สารสังเคราะห์โคแอกกูแลนท์เดี่ยว

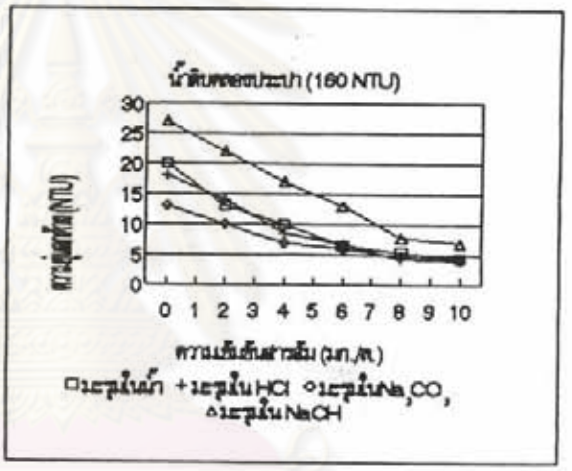
ชนิดของน้ำดิบ	ความขุ่น (NTU)	ชนิดของโคแอกกูแลนท์	ปริมาณที่เหมาะสมของโคแอกกูแลนท์ (มก./ล.)	ความขุ่นเหลือค้าง (NTU)						ประสิทธิภาพในการลดความขุ่น (%)					
				ความเข้มข้นของสารสัม (มก./ล.)						ความเข้มข้นของสารสัม (มก./ล.)					
				0	2	4	6	8	10	0	2	4	6	8	10
น้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยา	20	สารรวมในน้ำ	200	19	15	11	8	4.7	3.5	5	25	45	70	77	83
		สารรวมในกรดไฮโดรคลอริก	40	25	18	8	6	4	3.5	-25	10	60	70	80	83
		สารรวมในโซเดียมคาร์บอเนต	20	23	20	17	9.3	5.5	4	-15	0	15	54	73	80
		สารรวมในโซเดียมไฮดรอกไซด์	200	23	20	18	7.8	7	3.2	-15	0	10	61	65	84
	100	สารรวมในน้ำ	120	54	35	19	14	9.1	8.3	46	65	81	86	91	92
		สารรวมในกรดไฮโดรคลอริก	40	28	21	14	12	7.9	8	72	79	86	88	92	92
		สารรวมในโซเดียมคาร์บอเนต	80	50	33	18	12	7.7	6.7	50	67	82	88	92	93
		สารรวมในโซเดียมไฮดรอกไซด์	160	57	33	25	18	12	9.5	43	67	75	82	88	91
	300	สารรวมในน้ำ	150	130	54	30	22	15	15	57	82	90	93	95	95
		สารรวมในกรดไฮโดรคลอริก	60	28	18	15	11	7.2	6.5	91	94	95	96	98	98
		สารรวมในโซเดียมคาร์บอเนต	150	51	28	21	20	15	13	83	91	93	93	95	96
		สารรวมในโซเดียมไฮดรอกไซด์	150	82	55	44	30	25	18	73	82	85	90	92	94
น้ำดินคลองประปา	160	สารรวมในน้ำ	150	20	13	10	8.5	5.4	4.4	88	92	94	96	97	97
		สารรวมในกรดไฮโดรคลอริก	20	18	14	8.6	8.7	4.3	3.9	89	91	95	96	97	98
		สารรวมในโซเดียมคาร์บอเนต	40	13	10	6.9	6	4.7	4.1	92	94	96	96	97	97
		สารรวมในโซเดียมไฮดรอกไซด์	40	30	17	14	8.6	5.5	5.5	81	89	91	95	97	97
น้ำดิบ มหาวิทยาลัยศรี	48	สารรวมในน้ำ	100	27	22	17	13	7.8	6.9	44	54	65	73	84	86
		สารรวมในกรดไฮโดรคลอริก	40	19	16	11	6.5	5.8	4.9	60	67	77	86	88	90
		สารรวมในโซเดียมคาร์บอเนต	40	13	13	9.6	6.5	5.5	4.8	73	73	80	86	89	90
		สารรวมในโซเดียมไฮดรอกไซด์	40	24	21	18	12	8.8	6.1	50	56	63	75	82	87

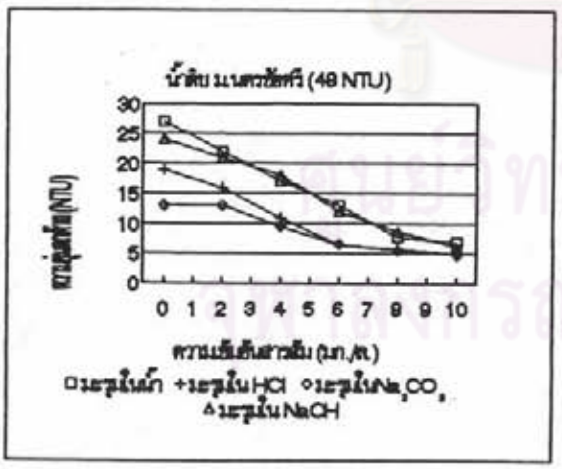
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



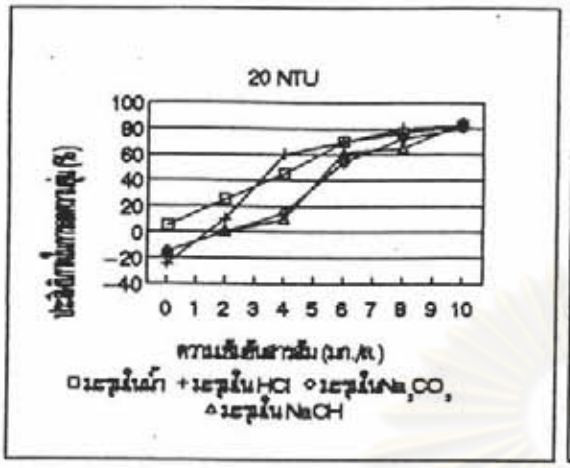


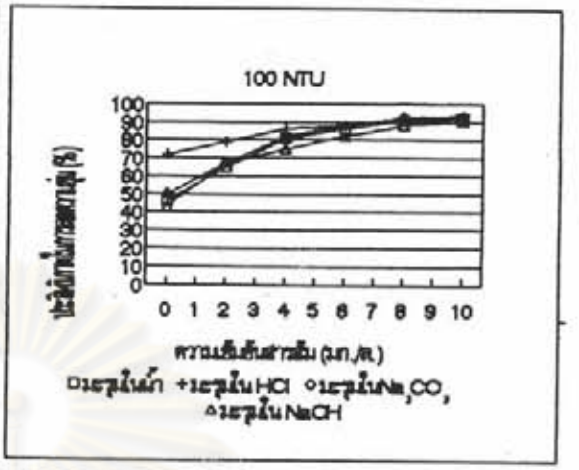


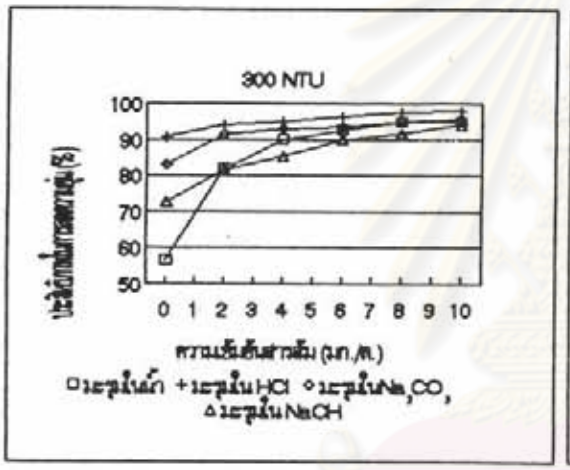


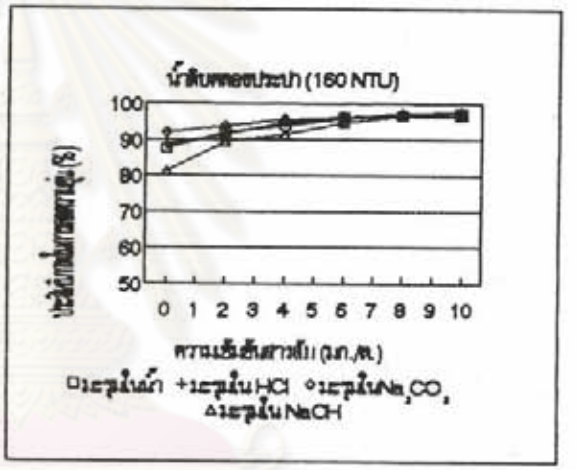


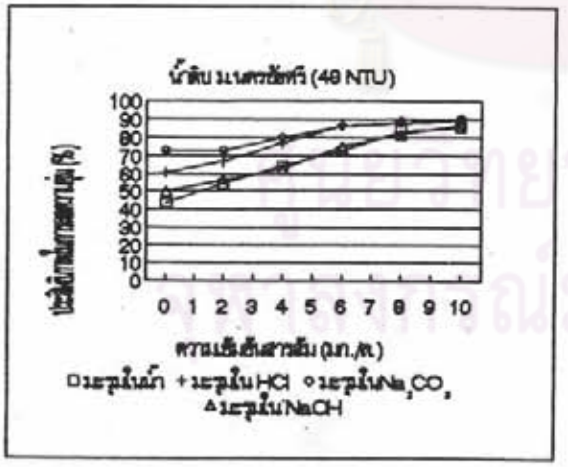
รูปที่ 4–39 ความขุ่นเหลือเมื่อใช้เธรชโฮล์ด 50% ของปริมาณที่เหมาะสมและใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนท์อย











รูปที่ 4–40 ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นเมื่อใช้ผสม 50 % ของ ผงมาสเตอร์ไบสารส้ม และโซเดียมอลูมิเนต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต่ำกว่า 10 เอ็นทียู การนำไปใช้งานควรพิจารณาด้วยว่าปริมาณสารส้มที่ใช้เหมาะสมหรือไม่ ในกรณีที่ต้องใช้สารส้มมากกว่า 50 เปอร์เซนต์ของปริมาณที่เหมาะสม ควรพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่ได้กับกรณีที่ใช้สารส้ม 50 เปอร์เซนต์ของปริมาณที่เหมาะสมเป็นโคแอกกูแลนต์ และใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอด เพื่อเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุด

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์เอดระหว่างเมล็ดมะรุมกับสารส้ม

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของการเป็นโคแอกกูแลนต์เอดระหว่างเมล็ดมะรุม (หัวข้อ 4.5.1) และสารส้ม (หัวข้อ 4.5.2) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4 - 12 ซึ่งเห็นได้ว่าค่าความขุ่นตกค้างที่ได้ใกล้เคียงกัน ไม่ว่าจะใช้เมล็ดมะรุมหรือใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เอดก็ตาม อาจเป็นไปได้ว่าทั้งสารส้มหรือเมล็ดมะรุมไม่ได้ทำหน้าที่เป็นโคแอกกูแลนต์เอด แต่ต่างฝ่ายต่างทำหน้าที่โคแอกกูแลนต์ของตัวเอง ช่วยกันทำลายเสถียรภาพของอนุภาคความขุ่น ทำให้เกิดฟล็อคได้เร็ว และได้ฟล็อคในปริมาณที่มาก จึงเกิดการเกาะกลุ่มกันได้ง่าย ทำให้ฟล็อคมีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ดี ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจึงสูง นอกจากนี้การใช้ร่วมกันทำให้ลดปริมาณที่ต้องใช้ของแต่ละตัวได้

ถ้าพิจารณาถึงความสำคัญของลำดับก่อนหลังระหว่างการเติมสารส้มกับเมล็ดมะรุม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 - 41 เห็นได้ว่าการเติมเมล็ดมะรุมก่อนสารส้มมีแนวโน้มที่สามารถลดความขุ่นได้มากกว่าการเติมสารส้มก่อนเมล็ดมะรุม ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเติมเมล็ดมะรุมไปก่อนนั้นช่วยเพิ่มเป้าสัมผัส เมื่อเติมสารส้มตามลงไปในภายหลังจึงทำให้สารส้มทำงานได้ดีมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอด

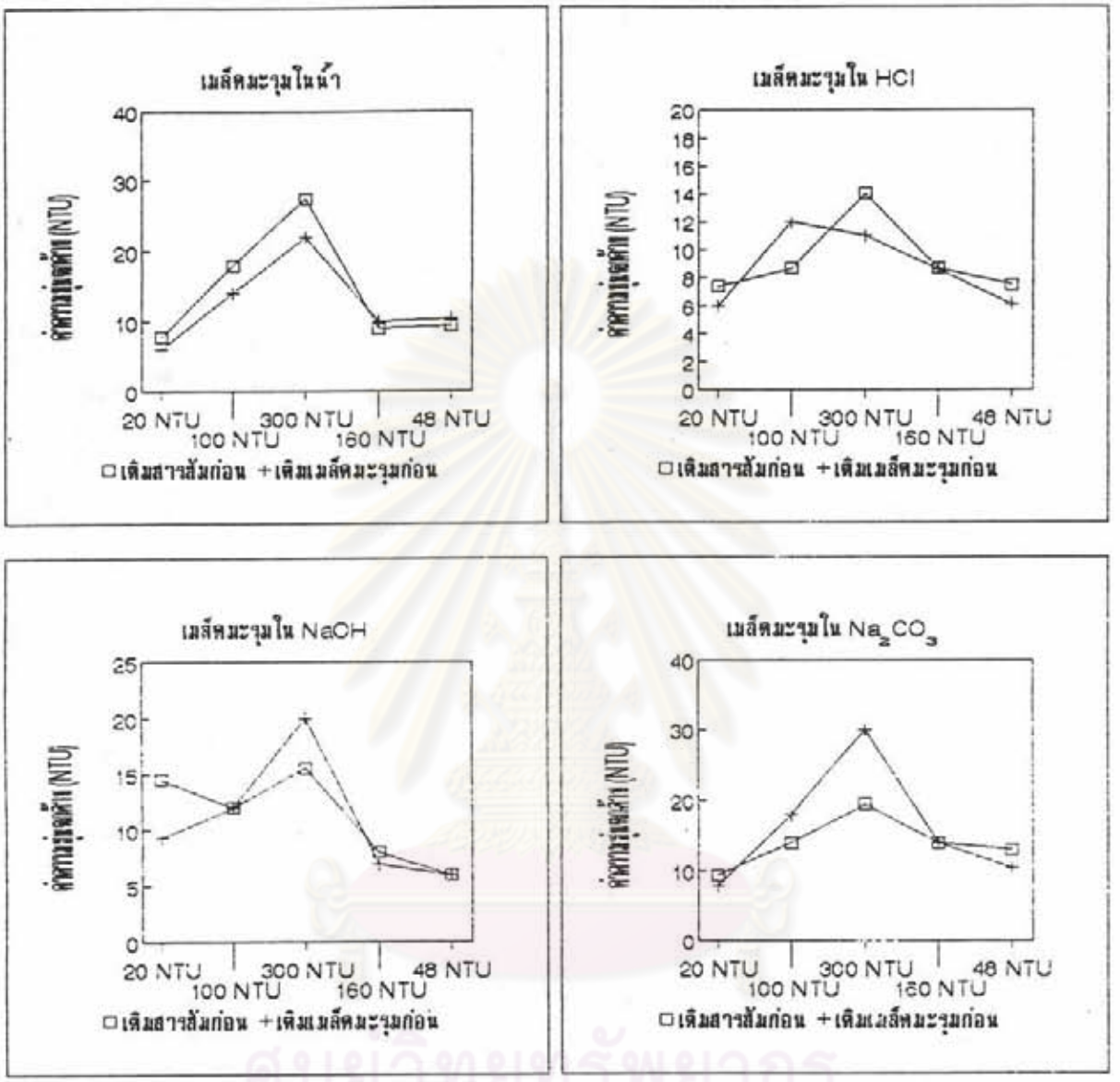
การประเมินค่าใช้จ่ายในครั้งนี้คิดเฉพาะค่าใช้จ่ายของการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอก—กูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดเท่านั้น ไม่รวมค่าต้นทุนอื่น ๆ ของการผลิตน้ำประปา เช่น ค่าอุปกรณ์ ค่าพลังงาน ค่าบำรุงรักษา เป็นต้น

ในปัจจุบันการปลูกมะรุมมีวัตถุประสงค์เพื่อนำฝักสดไปขาย ส่วนที่เหลือจากการนำไปขายก็จะปล่อยทิ้งไว้ให้แห้งคาต้นโดยไม่มีการเก็บรวบรวม ไม่มีการซื้อขายกันตามท้องตลาด ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดราคาได้ตายตัวได้ จึงทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในกรณีที่เมล็ดมะรุมมีราคาต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 4–12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนท์ของสารส้มกับเมล็ดมะรุม

ความขุ่น (NTU)	ปริมาณที่ใช้ (มก./ล.)					ความขุ่นตกค้าง (NTU)	
	สารส้ม	เมล็ดมะรุมในน้ำ	เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริก	เมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์	เมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต	ใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนท์เอด	ใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนท์เอด
20	6	100				7.7	6
	6		20			7.4	6
	6			10		13–16	9.3
	6				100	9.3	7.8
100	6	60				18	14
	6		20			8.7	12
	6			40		12	12
	6				80	14	18
300	6	75				26–29	22
	6		30			11–17	11
	6			75		13–18	20
	6				75	19–20	30
160 (น้ำดิบจากคลองประปา)	4	75				8.9	10
	4		10			9.7	8.6
	4			20		8	8.9
	4				20	14	14
48 (น้ำดิบจากม.นครสวรรค์)	7	50				8.9–9.8	7.8–13
	7		20			7.5	5.8–6.5
	7			20		6	5.5–6.5
	7				20	13	8.8–12

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-41 ความสัมพันธ์ระหว่างลำดับของการเติมสารส้มและเมล็ดมะรุมที่มีผลต่อค่าความขุ่นหลังการที่ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนี้คือ 1 , 2 , 3 , 4 และ 5 บาทต่อกิโลกรัม โดยเมล็ดมะรุมแห้ง 1 กิโลกรัมนำมาแกะได้เนื้อเมล็ดประมาณ 650 กรัม และเนื้อเมล็ดมะรุม 1 กิโลกรัมนำมาบดได้เป็นผงเมล็ดมะรุมประมาณ 850 กรัม

การเตรียมผงเมล็ดมะรุม 1 กก.ต้องใช้เนื้อเมล็ด = 1000 x 1000 / 850

= 1176 กรัม

การเตรียมเนื้อเมล็ด 1176 กรัม ต้องใช้เมล็ดมะรุม = 1176 x 1000 / 650

= 1809 กรัม

ดังนั้นในการเตรียมผงเมล็ดมะรุม 1 กิโลกรัม ต้องใช้เมล็ดมะรุมประมาณ 1800 กรัม

การเตรียมเมล็ดมะรุมเพื่อนำมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ หรือโคแอกกูแลนต์เอด ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ น้ำ กรดไฮโดรคลอริก 0.05 นอร์มอล โซเดียมคาร์บอเนต 0.05 นอร์มอล และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 นอร์มอล เนื่องจากผงเมล็ดมะรุมละลายน้ำได้น้อย สารโคแอกกูแลนต์ที่ได้จึงอยู่ในรูปของสารแขวนลอย การเตรียมสารแขวนลอยจากเมล็ดมะรุมนี้เตรียมให้มีความเข้มข้น 2 เปอร์เซนต์ หรือ 20,000 มก./ล. แสดงว่าอัตราส่วนระหว่างผงเมล็ดมะรุมต่อตัวทำละลาย คือ 20 กรัมต่อตัวทำละลาย 1 ลิตร ดังนั้นสำหรับผงแป้ง 1 กิโลกรัมต้องใช้ตัวทำละลาย 50 ลิตร สาระเคมีที่ใช้ตลอดจนปริมาณและค่าใช้จ่ายในการเตรียมตัวทำละลายแต่ละชนิดในปริมาณ 50 ลิตร แสดงในตารางที่ 4 - 13

ตารางที่ 4 - 14 แสดงค่าใช้จ่ายในการเตรียมโคแอกกูแลนต์จากผงเมล็ดมะรุม 1 กิโลกรัม ซึ่งค่าใช้จ่ายนี้ประกอบไปด้วยค่าผงเมล็ดมะรุม และค่าตัวทำละลาย โดยค่าผงเมล็ดมะรุมคิดจากเมล็ดมะรุมที่มีราคาต่าง ๆ เห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายของการเตรียมเมล็ดมะรุมที่ละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ มะรุมในกรดไฮโดรคลอริก มะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต และมะรุมในน้ำ

1. ค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำประปาในการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ โดยเปรียบเทียบกับการใช้เมล็ดมะรุม พบว่าการใช้สารส้มใช้ความเข้มข้นประมาณ 20 มก./ล. และราคาของสารส้ม 1 กิโลกรัมประมาณ 10 บาท ดังนั้นในการผลิตน้ำประปา 1 ลบ.ม.เสียค่าใช้จ่าย 0.20 บาท ส่วนค่าใช้จ่ายเมื่อใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์แสดงในตารางที่ 4 - 15 ซึ่งเห็นได้ว่าต้นทุน

ตารางที่ 4–13 ค่าใช้จ่ายในการเตรียมตัวทำละลายในการเตรียมโซเดียมคลอไรด์จากเมล็ดมะรุม

ตัวทำละลายที่ใช้	สารเคมีที่ใช้		ราคาต่อหน่วย (บาท/กก.)	ราคารวมต่อการเตรียมตัวทำละลาย 50 ลิตร (บาท)
	ชนิด	ปริมาณที่ใช้		
น้ำ	–	–	–	–
กรดไฮโดรคลอริก 0.05 N.	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น	207.5 มล. หรือ 246 กรัม	10	2.46
โซเดียมคาร์บอเนต 0.05 N.	ผงโซเดียมคาร์บอเนต	132.5 กรัม	6	0.8
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 N.	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (เกล็ด)	100 กรัม	30	3

ตารางที่ 4–14 ค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมคลอไรด์จากผงเมล็ดมะรุม 1 กิโลกรัม

ราคาเมล็ดมะรุม (บาท/กก.)	ราคาผงเมล็ดมะรุม (บาท/กก.)	ชนิดของตัวทำละลาย	ค่าใช้จ่ายในการเตรียมโซเดียมคลอไรด์จากเมล็ดมะรุม (บาท)		
			ค่าผงเมล็ดมะรุม	ค่าตัวทำละลาย	รวมค่าใช้จ่าย
1	1.8	น้ำ	1.8	–	1.8
		กรดไฮโดรคลอริก	1.8	2.46	4.26
		โซเดียมคาร์บอเนต	1.8	0.8	2.6
		โซเดียมไฮดรอกไซด์	1.8	3	4.8
2	3.6	น้ำ	3.6	–	3.6
		กรดไฮโดรคลอริก	3.6	2.46	6.06
		โซเดียมคาร์บอเนต	3.6	0.8	4.4
		โซเดียมไฮดรอกไซด์	3.6	3	6.6
3	5.4	น้ำ	5.4	–	5.4
		กรดไฮโดรคลอริก	5.4	2.46	7.86
		โซเดียมคาร์บอเนต	5.4	0.8	6.2
		โซเดียมไฮดรอกไซด์	5.4	3	8.4
4	7.2	น้ำ	7.2	–	7.2
		กรดไฮโดรคลอริก	7.2	2.46	9.66
		โซเดียมคาร์บอเนต	7.2	0.8	8
		โซเดียมไฮดรอกไซด์	7.2	3	10.2
5	9	น้ำ	9	–	9
		กรดไฮโดรคลอริก	9	2.46	11.46
		โซเดียมคาร์บอเนต	9	0.8	9.8
		โซเดียมไฮดรอกไซด์	9	3	12

หมายเหตุ : ผงเมล็ดมะรุม 1 กิโลกรัม เตรียมได้จากเมล็ดมะรุม 1.8 กิโลกรัม

ตารางที่ 4–15 ค่าใช้จ่ายในการใส่เม็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนท์ต่อการผลิตน้ำ 1 ลบ.ม.

ชนิดของโคแอกกูแลนท์จากเม็ดมะรุม	ปริมาณที่ใช้ (มก./ล.)	ราคาเม็ดมะรุม (บาท/กก.)	ราคาโคแอกกูแลนท์จากเม็ดมะรุม (บาท/กก.)	ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำ 1 ลบ.ม. (บาท)
มะรุมในน้ำ	100 – 400	1	1.8	0.18 – 0.72
		2	3.6	0.36 – 1.44
		3	5.4	0.54 – 2.16
		4	7.2	0.72 – 2.88
		5	9	0.90 – 3.60
มะรุมในกรดไฮโดรคลอริก	30 – 60	1	4.26	0.13 – 0.26
		2	6.06	0.18 – 0.36
		3	7.86	0.24 – 0.47
		4	9.66	0.29 – 0.58
		5	11.46	0.34 – 0.69
มะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต	80 – 200	1	2.6	0.21 – 0.52
		2	4.4	0.35 – 0.88
		3	6.2	0.50 – 1.24
		4	8	0.64 – 1.60
		5	9.8	0.78 – 1.96
มะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์	150 – 200	1	4.8	0.72 – 0.96
		2	6.6	0.99 – 1.32
		3	8.4	1.26 – 1.68
		4	10.2	1.53 – 2.04
		5	12	1.80 – 2.40

หมายเหตุ : ต้นทุนนี้คิดจากค่าใช้จ่ายของการใส่เม็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนท์หรือโคแอกกูแลนท์เอดเท่านั้น ไม่รวมต้นทุนอื่น ๆ เช่น ค่าก่อสร้าง ค่าอุปกรณ์ ค่าพลังงานและค่าบำรุงรักษา

การผลิตน้ำเมื่อใช้เมล็ดมะรุมที่ละลายในกรดไฮโดรคลอริกมีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณที่ต้องใช้ต่ำกว่าเมล็ดมะรุมในตัวทำละลายอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเมล็ดมะรุมมีราคาสูงกว่า 3 บาทต่อกิโลกรัม จะทำให้มีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าการใช้สารส้ม

2.ค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอดเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มอย่างเดียว

ตารางที่ 4 - 16 แสดงค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม โดยใช้สารส้มในปริมาณ 50 และ 25 เปอร์เซนต์ของปริมาณที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว เห็นได้ว่าเมื่อใช้เมล็ดมะรุมร่วมกับสารส้มในปริมาณ 50 เปอร์เซนต์ของปริมาณที่เหมาะสม ให้ค่าใช้จ่ายต่อการผลิตน้ำ 1 ลบ.ม ใกล้เคียงกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว แต่ถ้าใช้สารส้ม 25 เปอร์เซนต์ของปริมาณที่เหมาะสมพบว่าการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ไม่ได้ช่วยลดต้นทุนการผลิตน้ำได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว

นอกจากนี้พบว่า ค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มมีค่าต่ำกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวเมื่อราคาของเมล็ดมะรุมไม่เกิน 3 บาทต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับในกรณีที่ใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์

3. ค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับเมล็ดมะรุม

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ โดยใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เอดแสดงในตารางที่ 4 - 17 พบว่าการใช้เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริกให้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด และถึงแม้ราคาของเมล็ดมะรุมสูงถึง 5 บาทต่อกิโลกรัมก็ยังมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว รองลงมาคือมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต มะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์ และมะรุมในน้ำตามลำดับ

ตารางที่ 4–16 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้สัตะรุมเป็นโคแอกกูแลนท์ร่วมกับสารส้ม

ชนิดของโคแอกกูแลนท์	ชนิดของโคแอกกูแลนท์เอด	ปริมาณสารส้มที่ใช้ (มก./ล.)	ปริมาณโคแอกกูแลนท์เอดจากสัตะรุมที่ใช้ (มก./ล.)	ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำ 1 ลบ.ม.			
				จากการใช้สารส้ม (บาท)	จากการใช้สัตะรุม		รวมค่าใช้จ่าย (บาท)
					ราคาสัตะรุม (บาท/กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	
สารส้ม	–	20	–	0.20	–	–	0.20
สารส้ม 50 % ของปริมาณที่เหมาะสม	ละลายน้ำ	10	20	0.10	1	0.04	0.14
		10	20	0.10	2	0.07	0.17
		10	20	0.10	3	0.11	0.21
		10	20	0.10	4	0.14	0.24
		10	20	0.10	5	0.18	0.28
	ละลายในกรดไฮโดรคลอริก	10	20	0.10	1	0.09	0.19
		10	20	0.10	2	0.12	0.22
		10	20	0.10	3	0.16	0.26
		10	20	0.10	4	0.19	0.29
		10	20	0.10	5	0.19	0.29
	ละลายในโซเดียมคาร์บอเนต	10	20	0.10	1	0.05	0.15
		10	20	0.10	2	0.09	0.19
		10	20	0.10	3	0.12	0.22
		10	20	0.10	4	0.16	0.26
		10	20	0.10	5	0.20	0.30
	ละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์	10	20	0.10	1	0.10	0.20
		10	20	0.10	2	0.13	0.23
		10	20	0.10	3	0.17	0.27
		10	20	0.10	4	0.20	0.30
		10	20	0.10	5	0.24	0.34
สารส้ม 25 % ของปริมาณที่เหมาะสม	ละลายน้ำ	5	60	0.05	1	0.11	0.16
		5	60	0.05	2	0.22	0.27
		5	60	0.05	3	0.32	0.37
		5	60	0.05	4	0.43	0.48
		5	60	0.05	5	0.54	0.59
	ละลายในกรดไฮโดรคลอริก	5	40	0.05	1	0.17	0.22
		5	40	0.05	2	0.24	0.29
		5	40	0.05	3	0.31	0.36
		5	40	0.05	4	0.39	0.44
		5	40	0.05	5	0.46	0.51
	ละลายในโซเดียมคาร์บอเนต	5	40	0.05	1	0.10	0.15
		5	40	0.05	2	0.18	0.23
		5	40	0.05	3	0.25	0.30
		5	40	0.05	4	0.32	0.37
		5	40	0.05	5	0.39	0.44
	ละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์	5	60	0.05	1	0.29	0.34
		5	60	0.05	2	0.40	0.45
		5	60	0.05	3	0.50	0.55
		5	60	0.05	4	0.61	0.66
		5	60	0.05	5	0.72	0.77

ตารางที่ 4–17 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้มัลติมะรุมเป็นโคแอกกูแลนท์โดยใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนท์ปกติ

โคแอกกูแลนท์			ปริมาณสารส้มที่ใช้เป็นโคแอกกูแลนท์ปกติ (มก./ล.)	ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำ 1 ลบ.ม			
ชนิด	ปริมาณที่เหมาะสม (มก./ล.)	ปริมาณที่ใช้ (มก./ล.)		จากการใช้สารส้ม (บาท)	จากการใช้มัลติมะรุม		รวมค่าใช้จ่าย (บาท)
					ราคามัลติมะรุม (บาท/กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	
มะรุมในน้ำ	150	75	6	0.06	1	0.14	0.20
				0.06	2	0.27	0.33
				0.06	3	0.41	0.47
				0.06	4	0.54	0.60
				0.06	5	0.68	0.74
มะรุมในกรดไฮโดรคลอริก	20	10	4	0.04	1	0.04	0.08
				0.04	2	0.06	0.10
				0.04	3	0.08	0.12
				0.04	4	0.10	0.14
				0.04	5	0.11	0.15
มะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต	40	20	4	0.04	1	0.05	0.09
				0.04	2	0.09	0.13
				0.04	3	0.12	0.16
				0.04	4	0.16	0.20
				0.04	5	0.20	0.24
มะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์	40	20	6	0.06	1	0.10	0.16
				0.06	2	0.13	0.19
				0.06	3	0.17	0.23
				0.06	4	0.20	0.26
				0.06	5	0.24	0.30

หมายเหตุ : ปริมาณที่เหมาะสมในปริมาณที่ใช้กับน้ำดิบจากแม่น้ำนครชัยศรีและคลองประปา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเสนอแนวทางในการนำไปใช้ในงานประปา

ความขุ่นของน้ำดิบที่นำมาผลิตน้ำประปาจะมีความขุ่นอยู่ในช่วง 20 - 500 เอ็นทียู และจากรายงานเกี่ยวกับการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง จะใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์โดยใช้ในปริมาณ 20 - 60 มก./ล.ขึ้นอยู่กับความขุ่น โดยช่วงที่มีความขุ่นสูงจะใช้ร่วมกับโพลีเมอร์ประจุบวกประมาณ 0.4 มก./ล. (เบ็ญจา , 2536)

จากผลการทดลองใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอด พบว่าเมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ที่ไม่ดีนักเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม แต่ในการใช้ร่วมกับสารส้มสามารถประหยัดปริมาณสารส้มได้ เมล็ดมะรุมสามารถใช้ได้ดีที่ความขุ่นตั้งแต่ 100 เอ็นทียูขึ้นไป และเมื่อนำไปใช้ที่ความขุ่นสูง ๆ ก็จะช่วยประหยัดสารส้มได้มาก แต่จากค่าใช้จ่ายที่ประเมินอาจจะเห็นว่าการใช้เมล็ดมะรุมมีค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นควรจะนำไปใช้ในท้องที่ที่มีการปลูกเมล็ดมะรุมหรือมีปริมาณมะรุมมาก ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายได้ นอกจากต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในเรื่องท้องที่ที่จะนำไปใช้แล้ว ควรพิจารณาถึงเรื่องอื่น ๆ ประกอบไปด้วย เช่น การกำจัดสลัดจ์ หรือความปลอดภัยต่อการบริโภค การที่เมล็ดมะรุมเป็นสารอินทรีย์ ดังนั้นสลัดจ์ที่ได้สามารถกำจัดได้ง่าย และความปลอดภัยในการใช้เมล็ดมะรุมมีสูง เนื่องจากสามารถใช้บริโภคได้ ก่อนที่นำไปใช้จึงต้องคำนึงถึงจุดประสงค์ของการนำไปใช้ก่อน เพื่อช่วยให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย