การปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยระบบกรองสัมผัสชนิดสารกรอง 2 ชั้น
กรณีศึกษา : อ่างเก็บน้ำศรีตรัง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Water Treatment by Contact Flocculation Filtration with Dual Media Filter

Case Study : Sri-trang Reservoir Prince of Songkla University

อาอีฉ๊ะ ละใบจิ

A-eechah Labaiji

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Science in Environmental Management

Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยระบบกรองสัมผัสชนิดสารกรอง 2 ชั้น กรณีศึกษา : อ่างเก็บน้ำศรีตรัง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผู้เขียน นางสาวอาอีฉ๊ะ ละใบจิ

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(ดร.ธันวดี เตชะภัททวรกุล)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นสพ.บรรจงวิทยวีรศักดิ์

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ทองลิมป์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์)

.....กรรมการ

(ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์)

.....กรรมการ

(ดร.ธันวดี เตชะภัททวรกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยระบบกรองสัมผัสชนิดสารกรอง 2 ชั้น กรณีศึกษา : อ่างเก็บน้ำศรีตรัง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้เขียน	นางสาวอาอีฉ๊ะ ละใบจิ
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบประปาจาก อ่างเก็บน้ำศรีตรัง ซึ่งมีความขุ่นต่ำ โดยระบบการกรองสัมผัส ชนิดสารกรอง 1 ชั้นและ 2 ชั้น ความสูงรวมของชั้นสารกรอง 70 ซม. บรรจุอยู่ในคอลัมน์อะคริลิกใสสูง 130 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. โดยศึกษาปัจจัยที่มีผล ต่อประสิทธิภาพของระบบกรองสัมผัส ชนิดสารกรอง 1 ชั้น (ทรายกรอง) ได้แก่ ความขุ่นของน้ำดิบและอัตรากรอง และปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบกรองสัมผัส ชนิดสารกรอง 2 ชั้น (ทรายกรองและแอนทราไซต์) ได้แก่ ความขุ่นของน้ำดิบและอัตราส่วนสารกรอง และเพื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพ กระบวนการผลิตน้ำและค่าใช้จ่ายของระบบกรองสัมผัสกับระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

จากการเก็บตัวอย่าง น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง ในช่วงเดือนกันยายน 2550 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551 มาทำจาร์เทสต์เพื่อหาปริมาณสารสร้างตะกอน (สารส้ม) ที่เหมาะสม พบว่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมน้ำดิบ ก่อนเข้าสู่ระบบกรองสัมผัส คือ 20 มก./ลิตร และเป็นปริมาณที่สอดคล้องกับการทำจาร์เทสต์ในน้ำดิบสังเคราะห์

ผลการศึกษาระบบกรองสัมผัสชนิดสารกรอง 1 ชั้นโดยใช้น้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่น 10, 20 และ 30 NTU และศึกษาเปรียบเทียบอัตรากรองที่ 5, 10 และ 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่าระบบกรองน้ำที่กรองน้ำดิบสังเคราะห์ที่มีความขุ่นเท่ากับ 10 NTU และใช้อัตรากรองเท่ากับ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. มีระยะเวลาการกรองนานที่สุดเฉลี่ย 14.5±0.55 สามารถผลิตน้ำได้เฉลี่ยเท่ากับ 1,136.2±42.95 ลิตรตลอดระยะเวลาการกรอง โดยคุณภาพ น้ำที่ผลิตได้มีค่าความขุ่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการประปาส่วนภูมิภาค (5 NTU) คือมีค่าความขุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 2.1±0.94 NTU จากนั้นทำการทดลองเดินระบบโดยใช้น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง กำหนดอัตรากรองที่ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่า ระบบกรองสัมผัสสามารถกำจัดค่าความขุ่นในน้ำดิบซึ่งมีค่า 10.14±0.52 NTU ลงได้เหลือ 2.4±0.19 NTU ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเช่นเดียวกับผลการศึกษา

ในน้ำดิบสังเคราะห์ มี ระยะเวลาการกรองน้ำเท่ากับ 15.3±1.03 ชม.ให้ปริมาณที่ผลิตได้ต่อรอบการกรองเฉลี่ยเท่ากับ 1,195.2±80.91 ลิตร

สำหรับผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองสัมผัสชนิดสารกรอง 2 ชั้น โดยใช้ทรายร่วมกับแอนทราไซต์เป็นสารกรองและกำหนดอัตรากรองเท่ากับ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม นั้น ผลการศึกษาโดยใช้น้ำดิบสังเคราะห์ พบว่า ระบบกรองน้ำที่กรองน้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU และใช้อัตราส่วน ของแอนทราไซต์ ต่อทรายกรองเท่ากับ 1.3 สามารถเดินระบบได้นานที่สุด โดยมีระยะเวลาการกรองเฉลี่ยเท่ากับ 26.6±0.5 ชม. น้ำที่ผ่านการกรองมีความขุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 1.7±1.4 NTU และสามารถผลิต น้ำต่อรอบการกรอง ได้เท่ากับ 2,074.8±40.5 ลิตร แต่ พบว่า อัตราส่วนสารกรองมีผลต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ โดยระบบกรองที่ใช้อัตราส่วนสารกรองของชั้นแอนทราไซต์มาก กว่าชั้นทรายกรอง น้ำที่ผ่านการกรอง ใสกว่าระบบกรองที่ใช้อัตราส่วนของชั้นแอนทราไซต์น้อยกว่าชั้นทรายกรอง เมื่อนำอัตราส่วนที่ดีที่สุดมาประยุกต์ใช้ในการทดลองกรองน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศ รีตรัง พบว่า ระบบกรองสัมผัสที่ใช้อัตราส่วน ของชั้นแอนทราไซต์ต่อชั้นทรายกรอง 1.3 กำหนดอัตรากรองเท่ากับ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ทำการกรองน้ำดิบที่มีความขุ่น 11.5±0.8 NTU พบว่า ระบบกรองสามารถกำจัดความขุ่ นในน้ำดิบจนได้คุณภาพน้ำอยู่ใน เกณฑ์มาตรฐานเช่นเดียวกับการทดลองน้ำดิบสังเคราะห์ โดยมีค่าควา มขุ่นของน้ำออกจากระบบเฉลี่ย 1.7±1.3 NTU มีระยะเวลาการกรองเฉลี่ย 25.2±1.0 ชม. ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำเฉลี่ย 1,967.4±81.2 ลิตรต่อรอบการกรอง

ดังนั้นระบบกรองสัมผัสทั้งชนิดสารกรอง 1 ชั้น และ 2 ชั้น สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรังได้ตามเกณฑ์มาตรฐานคุ ณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค โดยระบบกรองสัมผัสชนิดสารกรอง 2 ชั้น ให้ระยะเวลาการกรอง ปริมาณน้ำที่ผลิตได้มากกว่าร ะบบกรองสัมผัสชนิดสารกรอง 1 ชั้น ส่วนผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของ ระบบกรองสัมผัสกับระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พบว่า ระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตน้ำ เท่ากับ 0.94 บาท/ลบ.ม. น้อยกว่าระบบกรองสัมผัสที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1.04 บาท/ลบ.ม.

Thesis Title	Water Treatment by Contact Flocculation Filtration with Dual Media Filter Case Study : Sri-trang Reservoir Prince of Songkla University
Author	A-eechah Labaiji
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2009

ABSTRACT

This study is aimed to investigate the efficiency of treating raw water supply from Sri-Trang reservoir by the contact flocculation filtration using single and dual media filter with the total height of 70 cm. in the transparent acrylic column of 10 cm. in diameter. The effects of raw water turbidity and filtration rate on single media filtration and the effect of raw water turbidity and media proportion on dual media filtration were determined. The operating cost of this system was compared to the contact flocculation filtration and rapid sand filtration system of The Prince of Songkla University.

The result of Jar-Test with raw water sample collected during September 2007-May 2008 showed that the optimum alum dose for water coagulation was 20 mg/L which corresponds with that from synthetic raw water.

The efficiency of single media filtration was studied with the variation of synthetic raw water turbidity (10, 20 and 30 NTU) and filtration rate (5, 10 and 15 m^3/m^2-hr.). We found from the results that the filter operated with synthetic raw water of 10 NTU turbidity and using 10 m^3/m^2-hr. of filtration rate had longest filter run time by 14.57±0.55 hr and yielded highest water production at the rate of 1,136.20±42.95 L/cycle. The effluent water turbidity was 2.15±0.94 NTU lower than maximum standard value set by Provincial Waterworks Authority (5 NTU). After that the experiments used raw water sample from Sri-Trang reservoir were conducted, and the filtration rate was controlled at 10 m^3/m^2-hr. The result showed that the contact flocculation filtration with single media filter could reduce raw water turbidity from

10.14±0.52 NTU to 2.49±0.19 NTU and yielded the filter run time by 15.32±1.03 hr with water production rate of 1,195.20±80.91 L/cycle

For the contact flocculation filtration using dual media filter (sand and anthracite) the experiments were conducted with 10 m^3/m^2-hr of filtration rate. The filtration using synthetic raw water at 10 NTU of turbidity and 1.3 for anthracite and sand proportion yielded longest filter run time by 26.60±0.52 hr and highest water production rate of 2,074.80±40.53 L/cycle. But it was found that the media filter proportion had an effect on water effluent turbidity. The filter that uses anthracite higher than sand media proportion could remove turbidity in raw water better than that use lower anthracite proportion. When the optimum media proportion, 1.3 (anthracite: sand) was applied for treating raw water supply from Sri-Trang reservoir, the result was found that dual media filter operated with 10 m^3/m^2-hr of filtration rate could treat turbidity in raw water efficiency as same as the result obtained from the experiments conducted with synthetic raw water. The average effluent water turbidity was 1.79±1.31 NTU. The filtration could be operated until 25.22±1.04 hr and yielded water production rate of 1,967.43±81.25 L/cycle.

Therefore both of the contact flocculation filtration using single and dual media filter could treat raw water supply from Sri-Trang reservoir to meet the water supply quality standard of Provincial Waterworks Authority. However the dual media filter yielded longer filter run time and higher water production than single media filter. In addition, the operating cost of rapid sand filtration of The Prince of Songkla University 0.94 Baht/m^3 was lower than that of contact flocculation filtration 1.04 Baht/m^3.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงด้วยดี เนื่องจากความกรุณาของ ดร .ชัยศรี สุขสาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และดร.ธันวดี เตชะภัททวรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่เสียสละเวลาในการอ่าน และตรวจสอบความถูกต้องในการเขียนของผู้วิจัย ตลอดจนการกระตุ้นและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร .นสพ .บรรจง วิทยวีรศักดิ์ รองศาสตราจารย์ ดร. วีระศักดิ์ ทองลิมป์ และรองศาสตราจารย์ ดร. อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ แก้ไขเพิ่มเติมเพื่อทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณสมใจ แก้วหนู หัวหน้างานสาธารณูปการและการซ่อมบำรุงรักษา คุณพนา เมฆตรง วิศวกรและผู้ปฏิบัติงานในหน่วยประปาทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ

ขอขอบคุณ คุณโรสนา กาซอและคุณอมรรัตน์ ธานีรัตน์ นักวิทยาศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการและให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ คุณพรจรัส สุทธินันท์ เจ้าหน้าที่ระบบคอมพิวเตอร์ที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือในเรื่องคอมพิวเตอร์ตลอดมา คุณสุภาวดี วงศ์หิรัญเดชา ที่ให้ความช่วยเหลือในการค้นคว้าและหาหนังสือที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยรวมทั้งเจ้าหน้าที่คณะการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในด้านต่างๆ ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ ดร.ชนิษฎา ชูสุข ดร.เสาวลักษณ์ รุ่งตะวันเรืองศรี คุณจุรีรัตน์ ชูสิงห์ คุณโรฮานา หมาดทิ้ง คุณสุนทราภรณ์ มะโน คุณธนวรรณ บุญมณี คุณปิ่นรัตน์ สิริพันธ์พงศ์ คุณธนกฤต พรหมทอง คุณเอนก สาวะอินทร์ คุณจิณณาธรรม หารเทา และคุณซูไฮณีย์ อิงดิง ตลอดจนเพื่อนๆพี่ๆน้องๆ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือตลอด

คุณประโยชน์ จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่และครอบครัว ละใบจิ ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนจนสำเร็จดังที่หวังไว้

อาอีฉ๊ะ ละใบจิ

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบาญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(12)
รายการตารางภาคผนวก	(14)
บทที่	
1. บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	27
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	27
ขอบเขตของการวิจัย	28
กรอบแนวคิดการวิจัย	29
2. วิธีการวิจัย	
วัสดุ	30
อุปกรณ์	31
วิธีดำเนินการวิจัย	34
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	37
3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	
คุณภาพน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง	38
การทำจาร์เทสต์	39
ระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง	43
ระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์	60

สารบาญ (ต่อ)

หน้า

4. บทสรุป

สรุปผลการวิจัย 80

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย 82

บรรณานุกรม 83

ภาคผนวก 90

ประวัติผู้เขียน 140

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1-1	ขนาดของอนุภาคและวัตถุต่างๆ ที่กรองได้	9
1-2	อัตราล้างสารกรองต่ำสุดที่ยอมให้ได้สำหรับชั้นกรองชนิดต่างๆ	25
1-3	แสดงอัตราการใช้น้ำและอากาศเพื่อล้างสารกรองในชั้นกรอง	26
1-4	เปรียบเทียบถังกรองทรายกับถังกรองทรายร่วมกับแอนทราไซท์	27
2-1	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง	34
2-2	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบกรองสัมผัสกับระบบทรายกรองเร็ว	37
3-1	คุณภาพน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง	39
3-2	คุณภาพน้ำเฉลี่ยหลังทำจาร์เทสต์ 4 ครั้ง เมื่อทดลองกับสารส้ม 20 มก./ลิตร	40
3-3	คุณภาพน้ำสังเคราะห์เฉลี่ยหลังทำจาร์เทสต์ 3 ครั้งเมื่อทดลองกับสารส้ม 20 มก./ลิตร	41
3-4	ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรองและปริมาณน้ำที่ผลิตได้ของน้ำสังเคราะห์	45
3-5	การวิเคราะห์ทางสถิติผลของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ	47
3-6	การวิเคราะห์ทางสถิติผลของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรอง	47
3-7	การวิเคราะห์ทางสถิติผลของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	48
3-8	การวิเคราะห์ทางสถิติผลของอัตรากรองน้ำต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ	51
3-9	การวิเคราะห์ทางสถิติผลของอัตรากรองน้ำสังเคราะห์ต่อระยะเวลาการกรอง	52
3-10	การวิเคราะห์ทางสถิติผลของอัตรากรองน้ำสังเคราะห์ต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	53
3-11	ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง	54
3-12	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อค่าความขุ่นน้ำออกจากระบบ	55
3-13	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราการกรองต่อระยะเวลาการกรองน้ำสังเคราะห์	56
3-14	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราการกรองต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	57
3-15	ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรองและปริมาณน้ำที่ผลิตได้ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง	59

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
3-16	ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรองและปริมาณน้ำที่ผลิตได้ ของน้ำสังเคราะห์	62
3-17	การวิเคราะห์ทางสถิติผลของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อความขุ่นน้ำออกจากระบบ	64
3-18	การวิเคราะห์ทางสถิติผลของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรอง	65
3-19	การวิเคราะห์ทางสถิติผลของความขุ่นน้ำเคราะห์เข้าระบบต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	65
3-20	การวิเคราะห์ทางสถิติผลของสัดส่วนสารกรองต่อความขุ่นน้ำออกจากระบบ	69
3-21	การวิเคราะห์ทางสถิติผลของสัดส่วนสารกรองต่อระยะเวลาการกรองน้ำ	69
3-22	การวิเคราะห์ทางสถิติผลของสัดส่วนสารกรองต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	70
3-23	ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของการกรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์	71
3-24	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของสัดส่วนสารกรอง และความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อค่าความขุ่นของน้ำออกจากระบบ	72
3-25	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของสัดส่วนสารกรอง ความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรองน้ำ	73
3-26	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของสัดส่วนสารกรอง ความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	74
3-27	ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรองและปริมาณน้ำที่ผลิตได้ ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง	76
3-28	เปรียบเทียบกระบวนการผลิตน้ำของระบบกรองสัมผัสกับระบบทรายกรองเร็วของ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	78
3-29	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตน้ำของระบบกรองสัมผัสกับ ระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	79

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1-1	กระบวนการผลิตน้ำประปาแบบทั่วไป	5
1-2	กระบวนการโคแอกกูชัน	5
1-3	กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำเข้าหาสารกรอง	11
1-4	การเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยกับขนาดของสารแขวนลอย	12
1-5	กลไกของการกรองน้ำในเครื่องกรองแบบทรายกรองเร็ว	12
1-6	ภาพตัดขวางของชั้นทรายของเครื่องกรองแบบธรรมดา	16
1-7	ภาพตัดขวางของเครื่องกรองแบบสองชั้นกรอง	16
1-8	ภาพตัดขวางของเครื่องกรองแบบอุดมคติ	17
1-9	แสดงเครื่องกรองแบบไหลขึ้น	17
1-10	การเปรียบเทียบกระบวนการกรองโดย (a) การกรองแบบสมบูรณ์ (b) การกรองโดยตรง (c) การกรองสัมผัส	20
2-1	สารกรอง (ทรายกรอง)	30
2-2	สารกรอง (แอนทราไซต์)	30
2-3	แผนผังของ DEEP BED FILTER COLUMN W 5	33
2-4	แผนภาพของ DEEP BED FILTER COLUMN W 5	33
2-5	วิธีการทำจาร์เทสต์	35
3-1	ค่าความขุ่นเฉลี่ยของน้ำหลังทำจาร์เทสต์ที่ปริมาณสารส้มต่างกัน	40
3-2	ค่าความขุ่นเฉลี่ยของน้ำสังเคราะห์หลังทำจาร์เทสต์ที่ความเข้มข้นสารส้มต่างกัน	42
3-3	ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่อัตรากรอง 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.	45
3-4	ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่อัตรากรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.	46
3-5	ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่อัตรากรอง 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.	46
3-6	ผลของอัตรากรองต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง (น้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่น 10 NTU)	50
3-7	ผลของอัตรากรองต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง (น้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่น 20 NTU)	50

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3-8	ผลของอัตรากรองต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง (น้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่น 30 NTU)	51
3-9	ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่อัตรากรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.	59
3-10	ความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ที่ผ่านการกรองที่สัดส่วนสารกรอง 40 : 30 ซม.	62
3-11	ความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ที่ผ่านการกรองที่สัดส่วนสารกรอง 30 : 40 ซม.	63
3-12	ความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ที่ผ่านการกรองที่สัดส่วนสารกรอง 20 : 50 ซม.	63
3-13	ผลของสัดส่วนสารกรองต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง (น้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่น 10 NTU)	67
3-14	ผลของสัดส่วนสารกรองต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง (น้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่น 20 NTU)	67
3-15	ผลของสัดส่วนสารกรองต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง (น้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่น 30 NTU)	68
3-16	ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองของน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง	77

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวก		หน้า
ก-1	คุณภาพน้ำดิบอ่างเก็บน้ำศรีตรังระยะเวลา 9 เดือน (กันยายน 2550 – พฤษภาคม 2551)	92
ข-1	ผลการทำจาร์เทสต์น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรังด้วยสารส้ม แบบไม่ควบคุมพีเอช จำนวน 4 ครั้ง	96
ข-2	ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ด้วยสารส้ม แบบไม่ควบคุมพีเอช (3 ตุลาคม 2550)	98
ข-3	ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ด้วยสารส้ม แบบไม่ควบคุมพีเอช (4 ตุลาคม 2550)	100
ข-4	ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ด้วยสารส้ม แบบไม่ควบคุมพีเอช (5 ตุลาคม 2550)	102
ค-1	ความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรอง และปริมาณน้ำที่ผลิตได้เมื่อทดลองระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง	105
ค-2	ความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรอง และปริมาณน้ำที่ผลิตได้เมื่อทดลองระบบกรองสัมผัส ชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์	106
ง-1	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบ ต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบของระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง	108
ง-2	ผลการเปรียบเทียบความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อความขุ่นน้ำออกจากระบบ	109
ง-3	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรองน้ำ	110
ง-4	ผลการเปรียบเทียบความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรองน้ำ	111
ง-5	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	112
ง-6	ผลการเปรียบเทียบความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	113
ง-7	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตรากรองต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ	114
ง-8	ผลการเปรียบเทียบอัตรากรองต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ	115
ง-9	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตรากรองต่อระยะเวลาการกรอง	116
ง-10	ผลการเปรียบเทียบอัตรากรองต่อระยะเวลาการกรอง	117
ง-11	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตรากรองต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	118

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวก		หน้า
ง-12	ผลการเปรียบเทียบอัตรากรองต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	119
ง-13	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของน้ำสังเคราะห์	120
ง-14	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบ ต่อค่าความขุ่นน้ำออกจากระบบ	121
ง-15	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบ และอัตราการกรองน้ำต่อระยะเวลาการกรองน้ำสังเคราะห์	122
ง-16	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบ และอัตราการกรองน้ำต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	123
ง-17	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบ ต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบของระบบกรองสัมผัส ชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์	124
ง-18	ผลการเปรียบเทียบความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อความขุ่นน้ำออกจากระบบ	125
ง-19	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรอง	126
ง-20	ผลการเปรียบเทียบความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรอง	127
ง-21	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	128
ง-22	ผลการเปรียบเทียบความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	129
ง-23	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสัดส่วนสารกรอง ต่อความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบ	130
ง-24	ผลการเปรียบเทียบสัดส่วนสารกรองต่อความขุ่นน้ำออกจากระบบ	131
ง-25	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสัดส่วนสารกรองต่อระยะเวลาการกรอง	132
ง-26	ผลการเปรียบเทียบสัดส่วนสารกรองต่อระยะเวลาการกรอง	133
ง-27	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสัดส่วนสารกรองต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	134
ง-28	ผลการเปรียบเทียบสัดส่วนสารกรองต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	135
ง-29	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของน้ำสังเคราะห์	136
ง-30	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบ และสัดส่วนสารกรองต่อความขุ่นน้ำออกจากระบบ	137

รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวก		หน้า
ง-31	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบ และสัดส่วนสารกรองต่อระยะเวลาการกรองน้ำสังเคราะห์	138
ง-32	ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบ และสัดส่วนสารกรองต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้	139

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทุกชนิด มนุษย์ มีความต้องการน้ำ สะอาดสำหรับการอุ ปโภคบริโภคประมาณ 100- 200 ลิตร /คน /วัน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) แต่เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ได้ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารพิษ เชื้อโรคและสารอินทรีย์ลงในแหล่งน้ำทำให้น้ำไม่สะอาดพอสำหรับการอุปโภคบริโภค (นิธิมา เคารพครู, 2546) ดังนั้นก่อนที่จะนำน้ำมาใช้จำเป็นต้องกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ออกให้หมด หรือให้เหลือน้อยที่สุด โดยผ่านขั้นตอนต่างๆ หลายขั้นตอน ที่เรียกว่า การผลิตน้ำประปา (สร้อยดาว วินิจนันทรัตน์ และรติกร แสงห้าว, 2547) ซึ่งประกอบด้วย การสูบน้ำดิบเข้าสู่ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอนและถังกรอง ตามลำดับ ซึ่งถังกรองจะทำหน้าที่กำจัดคว ามขุ่นหรืออนุภาค ขนาดเล็กที่มาจากถังตกตะกอน ถังกรองที่ใช้กันโดยทั่วไปในการผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน คือ ถังทรายกรองเร็ว (rapid sand filter) ประเภทกรองลง (downward filtration) โดยในถังกรองใช้ทราย ขนาดคละกัน ข้อจำกัดของถังกรองประเภทนี้คือ ถ้าน้ำมีความขุ่นต่ำต้องใช้สารเคมีปริมาณมากใน การเกิดฟล็อกของกระบวนการฟล็อกกูเลชัน ในถังกวนช้า และเมื่อทำการล้างย้อน (backwashing) พบว่า ทรายเม็ดใหญ่ที่สุดจะตกลงก้นถังก่อนทรายเม็ ดเล็ก ทำให้เมื่อทำการกรองต่อไป ตะกอนจะ ถูกดักจับในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายที่อยู่ชั้ นบนสุดขณะที่ทรายเม็ดใหญ่ที่อยู่ชั้นล่างไม่มีตะกอน เข้าไปติดค้างในช่องว่างเลย ทำให้การใช้สารกรองที่เป็นทรายอย่างเดียวไม่สามารถกรองตะกอนได้ อย่างมีประสิทธิภาพ จึง ได้มีการพัฒนาถังกรองที่ ใช้สารกรองหลายชนิดที่มีขนาดและความ ถ่วงจำเพาะแตกต่างกัน เช่น แอนทราไซต์ (anthracite) มีความถ่วงจำเพาะ 1.5 ให้อยู่ชั้นบนและ ทราย (sand) มีความถ่วงจำเพาะ 2.6 อยู่ชั้นล่าง ซึ่งแอนทราไซต์เป็นคาร์บอนชนิดหนึ่ง นอกจากมี คุณสมบัติ ในการดักจับตะกอนได้มากกว่าทรายแล้ว ยังมีคุณสมบัติใน การดูดซับสี กลิ่นและสนิม เหล็กที่มากับน้ำด้วย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

ระบบการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ใช้แหล่งน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรังที่มีความขุ่นเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 6.0-31.0 NTU (ปวิตร ชัยวิสิทธิ์ , 2548) เป็นระบบประปาแบบผิวดินทั่วไป โดยระบบกรองน้ำประปาใน มหาวิทยาลัยมี 2 ระบบ คือระบบกรองแบบใช้แรงดัน (pressure filter) และระบบทรายกรองเร็ว (rapid sand filter) โดยระบบกรองแบบใช้แรงดัน ประกอบด้วย ถังเติมสารเคมี (เติมสารส้ม

วันละ 2-3 ครั้งๆ ละ 15 กิโลกรัม) ถังตกตะกอนและถังกรองทราย จำนวน 4 ถัง ส่วนระบบทรายกรองเร็ว ประกอบด้วย ถังตกตะกอน (เติมปูนขาวและสารส้มวันละ 3-4 ครั้งๆ ละ 10 และ 20 กิโลกรัม ตามลำดับ) และถังกรองทราย โดยจะทำการล้างระบบกรองวันละ 2 ครั้ง (ทุก 12 ชม.) (กองอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ , 2549) ส่วนระบบกรองสัมผัสเป็นระบบกรองชนิดหนึ่งที่นำมาใช้ในกร ะบวนการกรองของการผลิตน้ำประปา เนื่องจากระบบกรองสัมผัสเป็นระบบที่รวมกระบวนการฟล็อกกูเลชันและกระบวนการกรองไว้ในถังเดียวไม่มีถังรวมตะกอนและถังตกตะกอน เพราะการรวมตะกอนจะเกิดขึ้นขณะที่กลุ่มตะกอนเล็กๆสัมผัสกับสารกรองที่ใช้ในการกรอง (Adin and Rebhun, 1974) จึงเป็นการลดค่าใช้จ่ายอีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังพบว่าระบบกรองสัมผัสมีระยะเวลาการกรองยาวนานกว่า 12 ชม. ใช้สารเคมีในปริมาณที่น้อย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) แต่ข้อจำกัดของระบบนี้ คือ น้ำดิบต้องมีความขุ่นต่ำ (Mouri and Niwa, 1993)

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองสัมผัสในการปรับปรุงคุณภาพน้ำจากแหล่งน้ำดิบที่มีความขุ่นไม่สูงมาก (< 30 NTU) ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบกรองสัมผัส และศึกษาค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตน้ำของมหาวิทยาลัยสงขล านครินทร์ โดยใช้ น้ำ ดิบ จากอ่างเก็บน้ำ ศรีตรัง มหาวิทยาลัย - สงขลานครินทร์ เป็นกรณีศึกษา ซึ่งผลการศึกษาอาจเป็นทางเลือกสำหรับการลดต้นทุน ในการสร้างระบบผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์หรือชุมชนต่อไป

1.2 ตรวจเอกสาร

1.2.1 การปรับปรุงคุณภาพน้ำ (water treatment)

น้ำที่ใช้เพื่อการบริโภค อุปโภคของคนเรานั้นต้องเป็นน้ำสะอาด ซึ่งกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

1.2.1.1 การต้ม (boiler) เป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ง่ายที่สุด วิธีการคือต้มน้ำให้เดือดประมาณ 15-30 นาที ความร้อนของน้ำขณะที่เดือดจะมีอุณหภูมิ ประมาณ 90-100 องศาเซลเซียส เป็นความร้อนที่พอจะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ แต่คุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี อาจเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย เช่น อาจลดปริมาณความขุ่น กลิ่น และสามารถลดความกระด้างของน้ำได้ด้วย ซึ่งวิธีนี้เสียค่าใช้จ่ายน้อยเหมาะที่จะใช้ภายในครัวเรือน

1.2.1.2 การกลั่น (distillation) เป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ทำให้คุณภาพน้ำดีที่สุด คือ สามารถทำให้น้ำ ปราศจากทั้งคุณสมบัติทั้งทางเคมี ฟิสิกส์ และจุลินทรีย์ แต่กรรมวิธีค่อนข้างทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายมาก ส่วนใหญ่วิธีนี้จะทำในวงจำกัด เช่น ในวงการวิทยาศาสตร์และ

วงการแพทย์ เป็นต้น เพราะในสองวงการดังกล่าวต้องใช้น้ำที่มีคุณภาพดีที่สุดเพื่อนำน้ำที่กลั่นมาผสมยารักษาโรค

1.2.1.3 การกรอง (filtration) เป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำให้สะอาด ที่สามารถลดจำนวนเชื้อโรคลงได้ ร้อยละ 95-99 นิยมใช้กันทั่วไปในกิจการประปา การกรองสามารถทำได้โดยผ่านเครื่องกรองสองแบบซึ่ง ผู้ใช้สามารถเลือกใช้แบบใดแบบหนึ่ง หรือทั้งสองแบบขึ้นอยู่กับความต้องการและคุณภาพของน้ำที่นำมากรองคือ เครื่องกรองช้าและเครื่องกรองเร็ว

1.2.1.4 สารเคมี (chemical) สารเคมีหลายชนิดสามารถทำลายเชื้อโรคหรือเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำได้ เช่น ด่างทับทิมและคลอรีน ซึ่งด่างทับทิมสามารถทำลายเชื้อโรคได้เพียงบ างชนิดเท่านั้นและต้องใช้เวลานานส่วนคลอรีนที่นิยมใช้สำหรับฆ่าเชื้อโรคในน้ำ คือ แบบชนิดผงและชนิดก๊าซ

1.2.1.5 ใช้ปูนขาว (lime) เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ไม่ยุ่งยากและใช้ทุนต่ำ โดยมุ่งขจัดความกระด้าง ของน้ำ กล่าวคือ ปูนขาวจะทำให้น้ำที่ขุ่นตกตะกอน น้ำใสที่อยู่ส่วนบนสามารถนำไปใช้เพื่อการอุปโภคได้

1.2.1.6 การกักเก็บหรือทำให้ตกตะกอน (sedimentation) เป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพของน้ำโดยอ าศัยแหล่งเก็บกักน้ำ ตะกอนจะค่อยๆ จมลงสู่ก้นของแหล่งเก็บกักน้ำซึ่งจะช่วยให้ความขุ่นลดลง แล้วจุลินทรีย์ที่มีเหลืออยู่ในน้ำก็จะค่อย ๆ ลดปริมาณลงด้วย

1.2.1.7 การสร้างและรวม ตะกอน (coagulation and flocculation) เป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยอาศัยเครื่องมือและสารเคมี ช่วยทำให้น้ำตกตะกอนรวมตัวกันก่อน เช่น ให้คว ามร้อนแก่น้ำ การปรับ พีเอชของน้ำ การเติมสารเคมี ทำให้ตะกอนจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อนแล้วตกตะกอน วิธีการนี้นิยมใช้กับกิจการประปาขนาดใหญ่ ทั่วไป เพราะมีประสิทธิภาพดี แต่ใช้ทุนสูง (กลุ่มวิชาสุขภาพอนามัย, 2550)

1.2.2 การผลิตน้ำประปาแบบทั่วไป (conventional treatment)

การผลิตน้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัยต้องดำเนินการตาม กระบวนการ ผลิตต่างๆ หลายขั้นตอน การเลือกวิธีและการออกแบบการผลิตน้ำประปาต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์หลักของกิจการประปา คือ ผลิตน้ำประปาที่สะอาดเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคได้อย่างปลอดภัย ผลิตน้ำประปาให้พอเพียงกับผู้ใช้และดำเนินการผลิตโดยใช้ต้นทุนการผลิตต่ำและพร้อมที่จะจ่ายน้ำประ ปาให้แก่ผู้ต้องการใช้น้ำได้อย่างทั่วถึงตลอดเวลา (สมบูรณ์ ลุวีระ, 2530) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1-1 ซึ่งการผลิตน้ำประปาโดยทั่วไปมีขั้นตอนดังนี้

1.2.2.1 การสูบน้ำ โดยทำการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต ซึ่งน้ำดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำประปาได้นั้นต้องเป็นน้ำที่ไม่มีสี กลิ่น รส และไม่มีสิ่งสกปรกโสโครกปนเปื้อนเกินกว่า มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งได้ผ่านการวิเคราะห์ตรวจสอบแล้วและต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาผลิตน้ำประปาได้อย่างต่อเนื่อง

1.2.2.2 การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิ บ (raw water treatment) น้ำดิบที่สูบเข้ามาแล้วจะถูกผสมด้วยสารเคมี เช่น สารส้มและปูนขาวด้วยวิธีการกวนเร็วและกวนช้า ซึ่งเรียกว่ากระบวนการโคแอกกูเลชัน สารละลายสารส้มจะช่วยให้มีการตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้นและสารละลายปูนขาวจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำหรือสาหร่าย

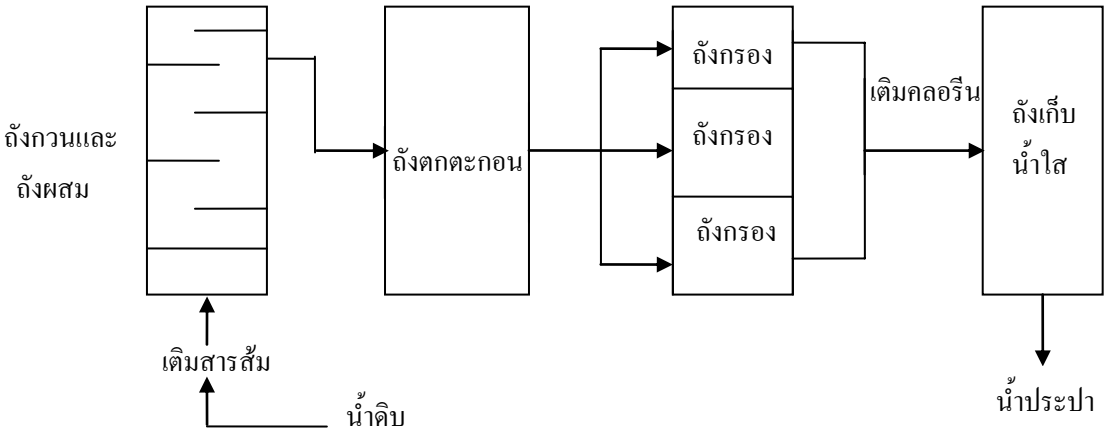
1.2.2.3 การตกตะกอน (sedimentation) ขั้นตอนนี้จะปล่อยน้ำที่ผสมสารส้มและปูนขาวแล้ว ทำให้เกิดการหมุนวนเวียนเพื่อให้น้ำกับสารเคมีรวมตัวกันจะช่วยให้มีการจับตัวของตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และจะนำน้ำเหล่านั้นเข้าสู่ถังตะกอนที่มีขนาดใหญ่เพื่อทำให้เกิดน้ำนิ่ง ตะกอนที่มีขนาดใหญ่น้ำหนักมากจะตกลงสู่ก้นถังและถูกดูดทิ้ง ส่วนน้ำใสด้านบนจะไหลตามรางรับน้ำเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

1.2.2.4 การกรอง (filtration) ในการกรองจะใช้ทรายหยาบและทรายละเอียดเพื่อการกรองตะกอนขนาดเล็กมากในน้ำให้มีความใสสะอาดมากขึ้น ซึ่งในขั้นตอนนี้น้ำที่ผ่านการกรองจะมีความใสมากแต่จะมีความขุ่นหลงเหลืออยู่ประมาณ 0.2-2.0 NTU และทรายกรองจะมีการล้างทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้การกรองมีประสิทธิภาพ

1.2.2.5 การฆ่าเชื้อโรค (disinfection) น้ำที่ผ่านการกรองมาแล้วจะมีความใส แต่อาจจะมีเชื้อโร คเจือปนมากับน้ำ ฉะนั้นจึงจะต้องทำการฆ่าเชื้อโรค โดยใช้คลอรีน ซึ่งคลอรีนนี้สามารถฆ่าเชื้อโรค ต่างๆ ได้เป็นอย่างดี น้ำที่ได้รับการผสมคลอรีนแล้ว เรียกกันว่า น้ำประปา สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคได้และจะทำการจัดเก็บไว้ในถังขนาดใหญ่ เรียกว่า ถังน้ำใส เพื่อจัดการบริการต่อไป

1.2.2.6 การควบคุมคุณภาพน้ำประปา ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะน้ำประปาที่ทำการผลิตมาแล้วนั้นจะต้องวิเคราะห์ตรวจสอบอีกครั้งจากนักวิทยาศาสตร์และการตรวจสอบนี้จะดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้น้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัย สำหรับการอุปโภคบริโภค

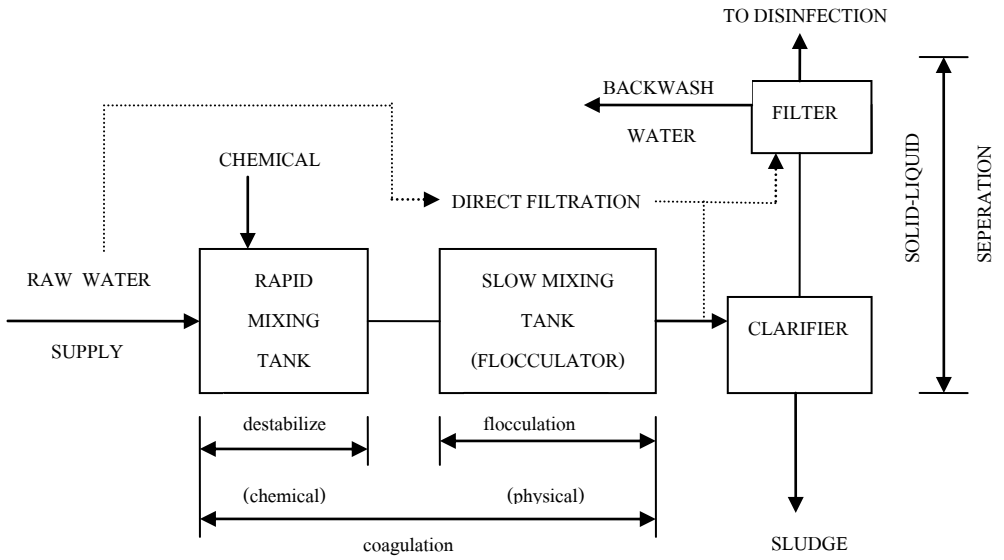
1.2.2.7 การสูบจ่าย น้ำประปาที่ผลิตมาแล้วนั้น จะต้องให้บริการถึงบ้านเรือนของผู้ใช้น้ำโดยส่งผ่านไปตามเส้นท่อ ดังนั้นการสูบจ่ายจึงมีความจำเป็น เพื่อให้น้ำประปาสามารถบริการได้อย่างทั่วถึง ด้วยการส่งจากหอถังสูงที่สามารถบริการได้ในพื้นที่ใกล้ เคียงและในพื้นที่ที่ไกลออกไปหรือมีเป็นพื้นที่สูง



ภาพประกอบที่ 1-1 กระบวนการผลิตน้ำประปาแบบทั่วไป
ที่มา : สมบูรณ์ ลุวีระ, 2530

1.2.3 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

กระบวนการโคแอกกูเลชันมีส่วนประกอบสำคัญ 2 อย่างคือ ถังกวนเร็ว (rapid-mixing tank) และถังกวนช้า (flocculation tank) ถังกวนเร็วซึ่งมีการเติม สารสร้างตะกอน จะทำหน้าที่กระจายสารเคมีไปให้ส่วนต่างๆ ของน้ำอย่างรวดเร็ว เพื่อให้มีการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์เกิดขึ้น ถังกวนช้าซึ่งได้รับน้ำต่อจากถังกวนเร็ว มีหน้าที่สร้างสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ เพื่อให้รวมตัวเป็นฟล็อก (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1-2



ภาพประกอบที่ 1-2 กระบวนการโคแอกกูชัน
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542

1.2.3.1 สารสร้างตะกอน

สารสร้างตะกอนแต่ละชนิดมีความเหมาะสมสำหรับทำลายอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำแต่ละชนิดแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปริมาณที่ใช้ ลักษณะของกลุ่มตะกอนที่เกิดและความเร็วของการตกตะกอน

1.2.3.1.1 สารส้ม (aluminum sulfate, $Al_2(SO_4)_3.14.3H_2O$) มีน้ำหนักโมเลกุล 594.4 มีความสามารถในการละลายน้ำได้ถึง 65.3, 71, 78.8 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส 20 องศาเซลเซียสและ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2536) ซึ่ง Kawamura (1976) กล่าวว่าสารส้มเป็นสารเคมีที่นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตน้ำประปา เพราะว่ามีราคาถูก ใช้ได้ง่าย ในทำลายสภาพของความขุ่นที่อยู่ในน้ำดิบ สารส้มจะละลายน้ำได้ดีเมื่ออยู่ในรูปของสารละลายโดยมีฤทธิ์เป็นกรด กัดกร่อนเหล็กหรือคอนกรีตได้ ดังนั้นถังที่ใช้สารละลายสารส้มควรใช้ถังพลาสติกหรือสแตนเลส สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนเพียงลำพังก็ได้ถ้าน้ำมีลักษณะที่เหมาะสม (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ , 2542) ช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับสร้างตะกอนได้ดีคือช่วง 6.0-7.8 (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2543) ซึ่งจากการตกตะกอนจะช่วยกำจัดความขุ่นที่มาจากสารอินทรีย์ แต่การเติมสารส้มในปริมาณมากจะทำให้ พีเอชของน้ำลดต่ำลงจนกระทั่งเกิดโคแอกกูเลชันไม่ดี จำเป็นต้องมีการเติมปูนขาวเพื่อช่วยปรับพีเอชแต่มีผลเสียทำให้เกิดความกระด้างถาวร ($CaSO_4$) ในน้ำ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) โดยเมื่อสารส้มละลายในน้ำที่มีความเป็นด่างจะแตกตัวดังนี้

$$Al_2(SO_4)_3 \longrightarrow Al^{+3} + 3SO_4^{-2}$$

$$H_2O \longrightarrow H^+ + OH^-$$

$$2\,Al^{+3} + 6\,OH^- \longrightarrow 2\,Al(OH)_3$$

จะเห็นได้ว่าน้ำจะแตกตัวให้ OH^- อิออนออกมาและจะทำ ปฏิกิริยาหมดไป ความเป็นด่างในน้ำจะลดลงจนกระทั่งไม่มี OH^- อิออนเพียงพอที่จะทำ ปฏิกิริยากับสารส้มอีก จึงต้องปรับค่า pH ให้สูงขึ้นโดยการเติมปูนขาว โซดาแอชหรือโซดาไฟ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่างๆดังนี้

$$Al_2(SO_4)_3 + 3\,Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2\,Al(OH)_3 + 3\,CaSO_4 + 6\,CO_2$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 6\,NaHCO_3 \longrightarrow 2\,Al(OH)_3 + 3\,Na_2SO_4 + 6\,CO_2$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 3\,Na_2CO_3 + 3\,H_2O \longrightarrow 2\,Al(OH)_3 + 3\,CO_2$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 6\,NaOH \longrightarrow 2\,Al(OH)_3 + 3\,Na_2SO_4$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 3\,Ca(OH)_2 \longrightarrow 2\,Al(OH)_3 + 3\,CaSO_4$$

สรุปได้ว่าสารส้มมีความเข้มข้น 1 มก./ลิตรจะทำปฏิกิริยากับ 0.50 มก./ลิตร ของความเป็นด่างในรูป $CaCO_3$ 0.33 มก./ลิตร ของปูนขาว 85 เปอร์เซ็นต์ ในรูป CaO 0.39 มก./ลิตร ของปูนขาว 95 เปอร์เซ็นต์ในรูป $Ca(OH)_2$ และ 0.54 มก./ลิตร ของโซดาแอชในรูป Na_2CO_3

1.2.3.1.2 เฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$)

สาร เฟอร์ริคคลอไรด์ มีสีเขียวเข้มหรือสีเหลืองน้ำตาลเข้ม มีน้ำหนักโมเลกุล 162.2 มีความสามารถในการละลายน้ำได้ถึง 74.4 และ 536 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสและ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สา มารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุดที่พีเอช 3.5-6.5 และพีเอช สูงกว่า 8.5 ตามลำดับ

1.2.3.1.3 เฟอร์ริคซัลเฟต ($Fe_2(SO_4)_3$)

สารเฟอร์ริคซัลเฟต มีสีน้ำตาลแดงหรือสีเทาแดงมีน้ำหนักโมเลกุล 399.9 มีความสามารถในการละลายน้ำได้ถึง 300 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุดที่พีเอช 3.5-7.0 และพีเอชสูงกว่า 9.0 ตามลำดับ

1.2.3.1.4 โพลีอลูมินัมคลอไรด์ (polyaluminum chloride, PAC)

สูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ เมื่อโพลีอลูมินัมคลอไรด์ละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์ทันทีเป็นอลูมิเนียมเชิงซ้อนมากมาย โดยคุณสมบัติของโพลีอลูมินัมคลอไรด์ เมื่อเป็นสารสร้างตะกอน คือ

1. มีอำนาจในการสร้างตะกอนและการรวมตะกอน การตกตะกอนจะรวดเร็วกว่าสารส้ม

2. สะดวกในการใช้งานเนื่องจากมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี

3. ในการทำงานโพลีอลูมินัมคลอไรด์ จะมีช่วงพีเอชในการเกิดปฏิกิริยากว้างกว่าสารสร้ างตะกอนตัวอื่น ซึ่งปกติจะมี พีเอชในช่วง 6-9 แต่บางกรณีจะสามารถตกตะกอนในช่วงพีเอช 5-10

4. โพลีอลูมินัมคลอไรด์สามารถสร้างตะกอนได้เร็วกว่าสารส้ม

โพลีอลูมินัมคลอไรด์ มีประสิทธิภาพดีกว่าสารส้มเมื่อพีเอชสูงหรือต่ำกว่าพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม และโพลีอลูมินัมคลอไรด์ เป็นสารสร้างตะกอนดีกว่าสารส้มเมื่ออุณหภูมิของน้ำต่ำที่ความเข้มข้นของสารแขวนลอยต่ำ โดยเฉพาะที่ พีเอชน้อยกว่า 5 หรือมากกว่า 7 (Dempsey *et al*, 1985) และนอกจากนี้ประสิทธิภาพของ โพลีอลูมินัมคลอไรด์ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบ และค่อนข้างได้ผลในน้ำที่มีความเป็นด่างต่ำ ความขุ่นสูง (> 30 NTU) โดยเฉพาะใน

สภาพอากาศหนาว นอกจากนี้โพลีอลูมินัมคลอไรด์ มีราคาแพงกว่าสารส้มถึงแม้ว่าจะใช้ในปริมาณที่ต่ำกว่า (Kawamura และ Trussell, 1991)

1.2.4 การเลือกสารเคมีสำหรับกำจัดความขุ่น

ความขุ่นในน้ำดิบมักเกิดจากสิ่งแขวนลอยต่างๆ เช่น เศษดิน ซา กอินทรีย์วัตถุ ที่ไม่มีชีวิต แพลงก์ตอนและจุลินทรีย์ขนาดเล็ก เป็นต้น การเลือกสารเคมีมาเป็น สารสร้างตะกอน มักขึ้นอยู่กับน้ำดิบเป็นสำคัญ สาร สารสร้างตะกอน ที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ สารส้มและสารประกอบเหล็ก เช่น เฟอร์ริคคลอไรด์ แต่สารส้มมักเป็นที่นิยมมากกว่าสารอื่น เนื่องจากสามารถใช้ได้กับน้ำธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ ประกอบกับมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย สารเคมีสำหรับสร้างโคแอกกูเลชันให้กับน้ำดิบ อาจจำแนกตามประเภทของน้ำดิบ ดังนี้

1.2.4.1. สารเคมีสำหรับน้ำที่มีความขุ่นมากและมีความเป็นด่างสูง

น้ำดิบที่มีความขุ่นและความเป็นด่างอยู่ในระดับสูง จัดเป็นน้ำที่สามารถสร้างโคแอกกูเลชันได้ง่าย โดยปกติสารส้มให้ผลดีเมื่อน้ำมีพีเอชในช่วง 6-7 ส่วนเฟอร์ริคคลอไรด์ให้ผลดีเมื่อน้ำมีพีเอช ในช่วง 5-7 ถ้าใช้สารส้มหรือเฟ อร์ริคคลอไรด์ก็ไม่ต้องใช้ สารช่วยสร้างตะกอนปูนขาวหรือด่างอื่นๆ สำหรับน้ำดิบชนิดนี้ การที่น้ำมีความขุ่นสูง ช่วยทำให้ฟล็อกมีขนาดใหญ่

1.2.4.2. สารเคมีสำหรับน้ำที่มีความขุ่นสูงแต่มีความเป็นด่างต่ำ

โพลิเมอร์อาจใช้เป็น สารสร้างตะกอน ได้ดีในกรณีนี้ สารส้มและเฟ อร์ริคคลอไรด์ก็สามารถใช้ได้เช่นกันแต่ต้องระวั งในเรื่องพีเอชลดลง เนื่องจาก มีบัฟเฟอร์ไม่เ พียงพอ การปรับพีเอชด้วยสารละลายด่างเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อป้องกันมิให้พีเอชของน้ำลดต่ำลงจนโคแอกกูเลชันเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์

1.2.4.3. สารเคมีสำหรับน้ำที่มีความขุ่นน้อยแต่มีความเป็นด่างสูง

น้ำดิบเช่นนี้ไม่อาจสร้างโคแอกกูเลชันให้เกิดได้ด้วยโพลิเมอร์ตามลำพัง ควรมีก ารเติมเป้าสัมผัสจากภายนอกด้วย โดยปกติมักเติมเป้าสัมผัสก่อนเติมโพลิเมอร์หรือ สารสร้างตะกอนอื่น ผงดินเหนียวป่นชนิดต่างๆ เช่น คาโอไลต์ หรือ เบนโทไนต์ สามารถใช้เป็นเป้าสัมผัสได้ดี สารส้มและเฟ อร์ริคคลอไรด์ก็ให้ผลดี แต่ต้องใช้ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง การเติมผงดินเหนี ยวก่อนการเติมสารส้มหรือเฟอร์ริคคลอไรด์จะช่วยลดปริมาณสารสร้างตะกอนได้ ทำให้ได้ฟล็อกที่มีขนาดใหญ่และหนักซึ่งสามารถตกตะกอนและอัดตัวได้ดี

1.2.4.4. สารเคมีสำหรับน้ำที่มีความขุ่นน้อยและมีความเป็นด่างน้อย

น้ำเช่นนี้เป็นแบบที่สร้างโคแอกกูเลชันได้ยากที่สุด การใช้ สารสร้างตะกอน อย่างใดอย่างหนึ่งเพียงลำพังจะไม่ให้ผลดีเลย เนื่องจากน้ำมีเป้าสัมผัสน้อยเกินไป จึงควรมีการเติมเป้าสัมผัสให้กับน้ำ การใช้สารส้มหรือเฟอร์ริคคลอไรด์จะทำให้พีเอชของน้ำลดต่ำลงมาก จนทำให้

อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมสำหรับการสร้างโคแอกกูเลชัน ข้อแนะนำสำหรับบน้ำประเภทนี้ คือ เติมปูนขาวหรือด่างอย่างอื่น เพื่อเพิ่มกำลังบัฟเฟอร์ให้กับน้ำ หรือเพิ่มเป้าสัมผัสให้กับน้ำโดยการเติมดินเหนียว เช่น เบนโทไนต์หรือสารเฉื่อยอย่างอื่น (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

1.2.5 กระบวนการกรองน้ำ

การกรองเป็นกระบวนการทางกายภาพและทางเคมีสำหรับขจัดหรือแยกสารแขวนลอย คอลลอยด์ ที่มีสภาพเป็นตะกอนแขวนลอย (suspended solid) และพวกจุลชีพต่างๆ เช่น แบคทีเรีย สาหร่าย ไวรัส สี แมงกานีส และเหล็กที่ถูกออกซิไดซ์ ซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำหรือเป็นตะกอนที่เกิดจากผลของกระบ วนการจับตัวและรวมตัวตกตะกอน น้ำที่เข้ากรองจะไหลผ่านช่องว่างของสารกรอง (filter media) ซึ่งจะดักจับสารต่างๆไว้ โดยขนาดของอนุภาคและวัตถุต่างๆที่กรองได้ ดังแสดงใน ตาราง ที่ 1-1 (ณรงค์ วุทธเสถียร , 2543) โดยระบบการกรองแรกเริ่มถูกนำมาใช้ในงานประปาเท่านั้น ต่อมาในปี ค.ศ.1949 มีการนำเอาระบบการกรองมาใช้ในการเพิ่มคุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดขั้นที่สองแล้ว (effluent) โดยใช้กรองน้ำทิ้งที่ไหลออกจากถังตกตะกอนที่สอง ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านระบบกรองน้ำแล้วไม่มีตะกอนแขวนลอยหลงเหลืออยู่ ทำให้สามารถลดค่าปริมาณตะกอนแขวนล อย (total suspended solid) และค่าปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำภายใต้สภาวะที่มีอากาศ (biochemical oxygen-demand) ประโยชน์ที่ได้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด ที่ไม่สามารถแยกตะกอนออกจากน้ำทิ้งได้หมด หรือไม่สามารถทำให้น้ำทิ้งได้มีคุณภาพตามที่มาตรฐานกำหนด (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2542) นอกจากนี้กระบวนการบำบัดน้ำเพื่อกำจัดหรือแยกสารฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสียก็สามารถใช้ระบบกรองตะกอนช่วยแยกตะกอนเคมีที่เกิดขึ้นได้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2535)

ตารางที่ 1-1 ขนาดของอนุภาคและวัตถุต่างๆ ที่กรองได้

อนุภาคและวัตถุต่างๆ	ขนาด (มิลลิไมครอน)
ตะกอนต่างๆ (Silt)	50,000
แบคทีเรีย	5,000
ไวรัส	50
อนุภาคคอลลอยด์	1 – 1,000

ที่มา: ณรงค์ วุทธเสถียร, 2543

1.2.6 การทำงานของระบบกรองน้ำ

โดยทั่วไประบบกรองน้ำจะประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ การกรองน้ำและการล้างสารกรองในชั้นกรอง การกรองน้ำ คือ การที่น้ำ ได้ไหลผ่านชั้นกรอง อาจใส่สารเคมีหรือไม่ใส่สารเคมีในชั้นกรอง ตะกอนในน้ำจะถูกกำจัดหรือดักไว้ที่ชั้นกรอง โดยปล่อยให้น้ำใสไหลออกจากระบบกรองน้ำ หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการกรองแล้ว กล่าวคือ เมื่อมีค่าสูญเสียความดัน (headloss) ในชั้นกรองมากเกินไปทำให้ประสิทธิภาพในการกรองน้ำตกต่ำ จำเป็นต้องหยุดการกรอง น้ำชั่วคราว จากนั้นทำการล้างสารกรองในชั้นกรองด้วยน้ำในทิศทางการไหลตรงข้ามกับทิศทางของน้ำไหลเข้าที่ต้องการกรองเพื่อไล่ตะกอนออกจากระบบกรองน้ำให้หมด (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2536)

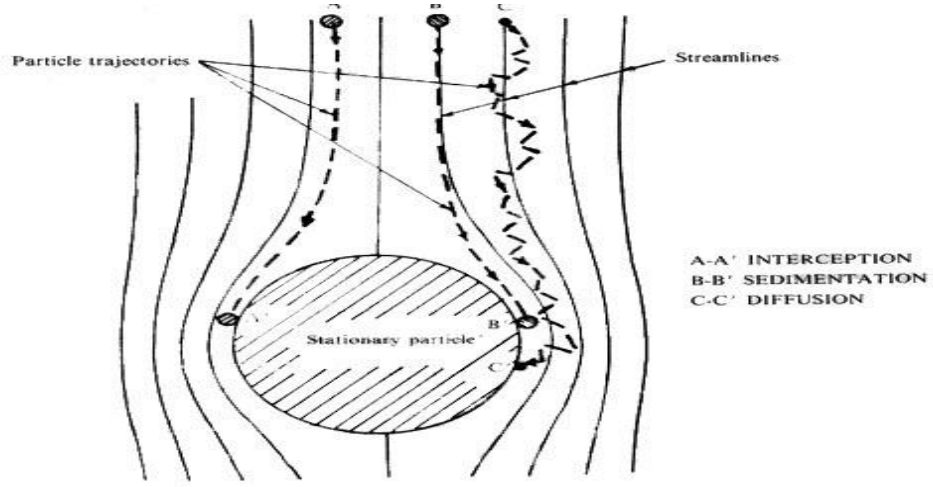
1.2.7 กลไกของการกรองน้ำ

O' Melia and Stumm (1969) ได้เสนอแนะว่า หลักการกำจัดสารแขวนลอยใน สารกรองจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางฟิสิกส์และเคมีของสารแขวนลอย สารกรอง ลักษณะทางเคมีของน้ำและอัตรากรอง การกำจัดสารแขวนลอยจะเกิดขึ้นภายใน สารกรอง ซึ่งจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีการทำงานที่ต่อเนื่องกัน 2 กลไก คือ กลไกการ เคลื่อนย้าย (transport) สารแขวนลอยในน้ำให้เข้าไปหาสารกรองซึ่งอยู่นิ่งๆ และวิธีการทำให้สารแขวนลอยเกาะจับอยู่กับสารกรอง (attachment) หรือสิ่งติดอยู่บนสารกรอง

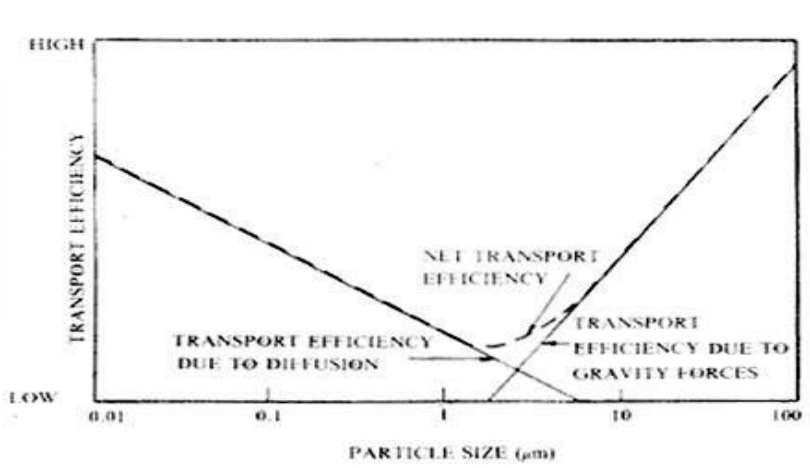
1.2.7.1 กลไกเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง (transport mechanism) ในกรณีของการกรองผ่านชั้นทรายหรือสารกรองอื่ น สารแขวนลอยเคลื่อนที่เข้าหาสารกรองได้ 2 วิธี แสดงดังภาพประกอบ ที่ 1-3 วิธีแรกเป็นการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของสารที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนและเป็นการเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุลที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน (brownian diffusion) วิธีที่สองเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำ สารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนก็จะวิ่งเบียดเข้าหาสารกรอง (interception) ในขณะที่ผ่านช่องว่างขนาดเล็ก นอกจากนี้สารแขวนลอยขนาดใหญ่ ยังอาจตกตะกอนในทิศทางที่เคลื่อนที่เข้าหาสารกรองได้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) ขนาดและการกระจายขนาด (size distribution) ของสารแขวนลอยมีความสำคัญต่อกลไกเคลื่อนย้ายเป็นอย่างมาก แสดงดังภาพประกอบ ที่ 1-4 คือ เมื่อขนาดของสารแขวนลอยเล็กกว่า 1 ไมครอนประสิทธิภาพของการเคลื่อนย้ายจะแปรผกผันกับขนาด ก็คือ การแพร่กระจายทำให้สารขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้มากกว่าและมีโอกาสวิ่งเข้าหาสารกรองได้มากกว่าสารขนาดใหญ่ แต่เมื่อสารมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนจะมีการแพร่กระจายในระดับโมเลกุลน้อยมากจนไม่มีนัยสำคัญ ขนาดและน้ำหนักของสารแขวนลอยจะเข้ามามีบทบาทสำคัญในการสร้าง

กลไกแบบตกตะก อนและติดค้าง (interception) ดังนั้นประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายจึงแปร ผันตรงกับขนาดของสารแขวนลอย (Yao *et al*, 1971)

1.2.7.2 กลไกจับสารแขวนลอย (attachment mechanism) สารแขวนลอยขนาดใหญ่ อาจตกตะกอนและเกาะติดอยู่บนสารกรองหรืออาจค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรอง ทำให้สามารถกรองออกจากน้ำได้ ซึ่งเครื่องกรองที่อาศัยกลไกทางกายภาพเพียงอย่างเดียวไม่สามารถกำจัดคอลลอยด์ได้ และการกรองน้ำต้องอาศัยกลไกที่ ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วย กลไกดังกล่าวคือ การดูดติดผิว (adsorption)และทำลายประจุของคอลลอยด์ให้เป็นกลาง (charge neutralization) การดูดติดผิวเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้คอลลอยด์สามารถเกาะจับอยู่บนสารกรองหรือบนสิ่งอื่นที่จับบนสารกรองอยู่แล้ว อย่างไรก็ตาม สารกรองและคอลลอยด์มีประจุลบทั้งคู่ จึงต้องทำลายประจุไฟฟ้าของสารตัวใดตัวหนึ่งก่อนหรือของทั้งคู่ เพื่อไม่ให้เกิดแรงผลักระหว่างประจุเดียวกัน ในกรณีการกรองน้ำซึ่งแตกต่างจากกรณีของโคแอกกูเลชัน เนื่องจากคอลลอยด์อยู่ในน้ำซึ่งเคลื่อนที่ผ่านชั้นกรองซึ่งอยู่กับที่ทำให้สามารถทำลายประจุไฟฟ้าของคอลลอยด์ก่อนผ่านเข้าชั้นกรองได้ ก็จะได้ผลในการกรองมากยิ่งขึ้นเพราะการที่สารกรองและคอลลอยด์มีประจุต่า งกันเป็นการส่งเสริมการดูดติดผิวให้เกิดขึ้นได้อย่างเหนียวแน่น การเติมสารส้มหรือโพลีเมอร์ เพื่อช่วยในการกรองโดยตรง (direct filtration) เป็นการทำลายประจุลบของคอลลอยด์หรือเปลี่ยนประจุลบให้เป็นบวก จึงช่วยทำให้การกรองน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แสดงดังภาพประกอบ ที่ 1-5 แสดงกลไกแบบต่างๆของการกรองน้ำที่ทำให้สามารถกำจัดสารแขวนลอยได้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542 และ Yao *et al*, 1971)

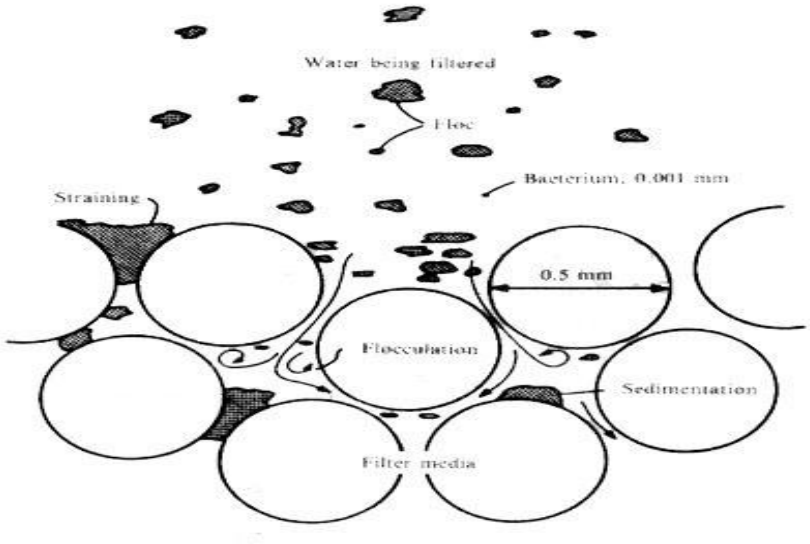


ภาพประกอบที่ 1-3 กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำเข้าหาสารกรอง
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542



ภาพประกอบที่ 1-4 การเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยกับขนาดของสารแขวนลอย

ที่มา : Yao *et al*, 1971



ภาพประกอบที่ 1-5 กลไกของการกรองน้ำในเครื่องกรองแบบทรายกรองเร็ว

ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542

การกำจัดสารแขวนลอยด้วยกลไกทั้งสองแบบมีผลต่อการกรองน้ำไม่เหมือนกัน การตกตะกอนและการติดค้าง ซึ่งเป็นกลไกทางกายภาพน่าจะเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของชั้นกรองที่ความลึกไม่เกิน 2-3 นิ้ว จากผิวหน้า ทำให้มีชั้นตะกอน ปกคลุมปิดผิวบนของชั้นกรอง ลักษณะเช่นนี้ทำให้การสูญเสียแ รงดันเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว กราฟการสูญเสียแรงดันจะเป็นเส้นโค้งแบบกระทะหงาย เครื่องกรองน้ำที่มีการกรองแบบติดผิว จะมีการสูญเสียแรงดัน ทำให้ชั้นกรองอุดตันเร็ว ดังนั้นจึงไม่ใช่ลักษณะของเครื่องกรองที่ดี ถ้าหากเกิดขึ้นควรพยายามหลีกเลี่ยงโดยการเพิ่มอัตรากรองให้ สูงขึ้นเพื่อเพิ่มแรงผลักดันให้สารแขวนลอยสามารถแทรกตัวเข้าภายในชั้นกรองได้ลึกมากขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอัตรากรองในกรณีนี้ทำให้ผลิตน้ำได้มากขึ้นและรูปร่างของกราฟสูญเสียแรงดันจะเปลี่ยนไป

เครื่องกรองน้ำที่ทำงานได้ดีและมีอายุไม่สั้นเกินไป ควรกำจัดสารแขวนลอยด้ว ยกลไกทั้งแบบกายภาพและเคมี (การดูดติดผิวและทำลายประจุไฟฟ้า) เนื่องจากวิธีนี้ทำให้การกรองเกิดขึ้นได้ลึกและทั่วทั้งชั้นกรอง การสูญเสียแรงดันจึงเกิดขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอ ทำให้กราฟของการสูญเสียแรงดันเป็นเส้นตรงหรือมีความโค้งน้อย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

ในร ะหว่างการกรองน้ำ หาก สารกรอง มีความฝืดหรือเกิดการอุดตันมากขึ้น แรงที่เกิดขึ้นจากการไหลของน้ำจะมีค่าสูงขึ้นตามด้วย เป็นผลทำให้อนุภาคแขวนลอยที่ติดอยู่บนสารกรองบางส่วนหลุดออกจาก สารกรองด้วยกลไกที่เรียกว่า Detachment mechanism ซึ่งจะทำให้น้ำที่กรองได้มีตะกอนขุ่นติดออกมาหรืออาจเกิดเนื่องจากพื้นที่ว่างบน สารกรองถูกใช้ไปจนเกือบหมดแล้ว ทำให้อนุภาคแขวนลอยมีโอกาสเกาะติดบนผิว สารกรองได้น้อย ดังนั้น จึงมีการหลุดของอนุภาคแขวนลอยออกจากสารกรองเพิ่มขึ้น (Ives, 1970)

1.2.8 สารกรอง (filter media)

สารกรองที่มีคุณสมบัติในการกรองที่ดี ควรมีคุณสมบัติ ในการ ป้องกันไม่ให้ตะกอนหรืออนุภาคแขวนลอยไหลผ่านสารกรองได้ สามารถ ดักและจับตะกอนหรืออนุภาคแขวนลอยไว้อย่างพอเหมาะ เพื่อจะได้ง่ายในการล้างย้อน และสามารถดักจับตะกอนหรืออนุภาคแขวนลอยไว้ได้มากที่สุดโดยไม่อุดตันได้ง่าย

1.2.8.1 คุณภาพของสารกรองจำแนกตามคุณสมบัติได้สองประการคือ

1.2.8.1.1 ขนาดการใช้งาน (effective size, E.S.) คือขนาดของสารกรองที่จำนวนร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของสารกรองมีขนาดเล็กกว่าขนาดที่กำหนดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารกรองทั้งหมดและสารกรองอีกร้อยละ 90 โดยน้ำหนักจะมีขนาดใหญ่กว่าขนาดที่กำหนด

เพราะฉะนั้น E.S. คือขนาดต่ำสุดของเม็ดสารกรองที่มีอยู่ในปริมาณสารกรองทั้งหมด ซึ่งค่านี้จะไม่บอกถึงความแตกต่างของขนาดของเม็ดสารกรองทั้งหลาย (particle size variation)

1.2.8.1.2 สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (uniformity coefficient, U.C.) คือความสม่ำเสมอของขนาดเม็ดสารกรอง กำหนดไว้ว่าร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของสารกรองมีขนาดเล็กกว่าขนาดที่กำหนด และร้อยละ 40 โดยน้ำหนักมีขนาดใหญ่กว่าขนาดที่กำหนด ถ้าสารกรองมีขนาดสม่ำเสมอมากเท่าใดก็แสดงว่าขนาดของเม็ดสารกรองทั้งหมดมีขนาดใกล้เคียงกันม าก โดยที่ U.C. จะมีค่าใกล้เคียง 1.0 ค่า E.S. และ U.C. ของสารกรองที่ต้องการขึ้นกับประเภทของการกรองและคุณภาพของน้ำที่กรอง สำหรับเครื่องกรองแบบแรงโน้มถ่วง (gravity filter) ใช้ทรายซิลิกาที่มี E.S. 0.3 – 0.5 มม. และ U.C. ไม่เกิน 1.7 ถ้าเป็นเครื่องกรองแบบ Pressure Filter ให้ใช้ทรายกรองที่มี E.S. 0.5 – 0.6 และ U.C. ไม่เกิน 1.7 (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2543)

1.2.8.2 ชนิดของสารกรอง (filter media)

1.2.8.2.1 ทราย

ทรายที่ใช้เป็นสารกรองส่วนใหญ่จะเป็นทรายซิลิกา มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.6 ขนาดที่ใช้ประมาณ 0.5 มม. (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) แต่ในบางกรณีก็ใช้ไม่ได้ เพราะซิลิกาจะละลายน้ำ เกิดปัญหาต่อไปในการใช้งาน นอกจากนี้กรวดและทรายใช้เป็นสารกรองต้องไม่มีหินปูน (limestone) ซึ่งมีเนื้ออ่อนและละลายน้ำได้ดีปะปนอยู่ เพราะเมื่อใช้ในการกรองมีการล้างและกวนมากเข้าจะทำให้มีการสึกกร่อนขนาดเล็กลงได้ (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2543) วิธีทดสอบว่าในกรวดและทรายมีหินปูนอยู่มากแค่ไหนทำได้โดยแช่ในกรดเกลือเข้มข้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะมีน้ำหนักหายไปไม่เกินร้อยละ 5 (สำนักบริหารจัดการน้ำ, 2548)

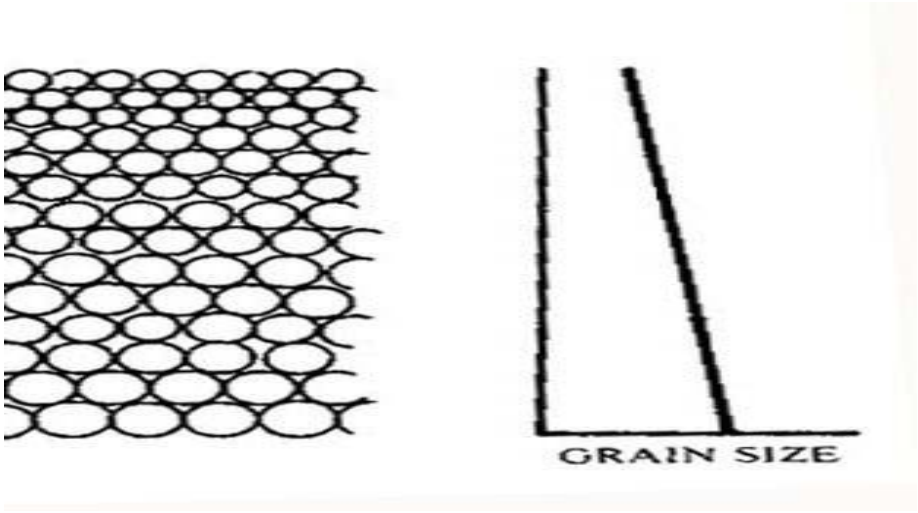
1.2.8.2.2 ถ่านแอนทราไซต์

ใช้ในกรณีที่ใช้ทรายเป็นสารกรองไม่ได้เพราะจะให้ซิลิกาออกมา เพราะความร้อนและความเป็นด่างสูง ถ่านแอนทราไซต์ที่มีขนาดเท่ากับทรายละเอียดจะมีประสิทธิภาพเท่ากัน ถ่านแอนทราไซต์ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดจะมี E.S. ใหญ่ และ U.C. ก็มีค่ามากด้วยเช่นกัน ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการกรองลดลงจึงไม่สามารถทำการกรองให้มีความขุ่นเหลือเพียง 0-2 NTU ได้ ควรเปลี่ยนไปใช้ทรายละเอียดแทน หรือไม่ก็ใช้สารกรองสองชั้น คือมีทรายละเอียดอยู่ใต้ชั้นถ่านอีก 20.3-25.4 ซม. ซึ่งถ่านแอนทราไซต์มีคุณสมบัติในการกักเก็บสารแขวนลอยได้ในปริมาณมาก เพราะว่ามีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง สามารถกรองน้ำได้จนถึงชั้นที่อยู่ลึกลงไป เนื่องจากรูปร่างของเม็ดแอนทราไซท์มีลักษณะแตกต่างกันไป ไม่เป็นแบบพิมพ์เดียวกันและมีน้ำหนักเบา ชั้นของแอนทราไซท์ที่ ทำหน้าที่เป็นตัวกรองน้ำจึงไม่ จับตัวกันแน่นมาก มีช่องว่างให้น้ำซึมผ่านลงไปยังชั้นกรองน้ำซึ่งอยู่ชั้นล่างโดยง่าย ดังนั้นจึงสามารถจะกรองน้ำให้ใสสะอาดภายในเวลา

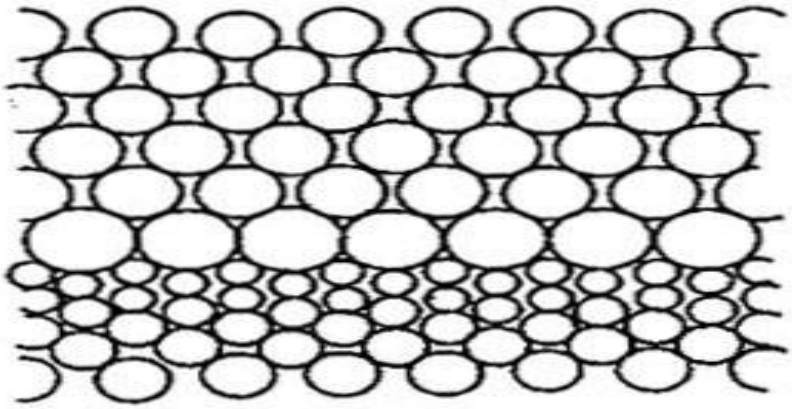
อันรวดเร็ว ประสิทธิภาพของการกรองน้ำจะเกิดขึ้นในช่วงรอยต่อระหว่างแอนทราไซท์และทราย เนื่องจากแอนทราไซท์เป็นสารกรองน้ำที่มีน้ำหนักเบา การทำความสะอาดจึงสามารถทำได้โดยง่าย ใช้น้ำล้างในการทำความสะอาด น้อยลง ยืดอายุการใช้งานของเครื่องกรอง สามารถกรองได้ที่อัตราการกรองสูงขึ้น (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2543)

1.2.9 ระบบการกรองมี 4 แบบ

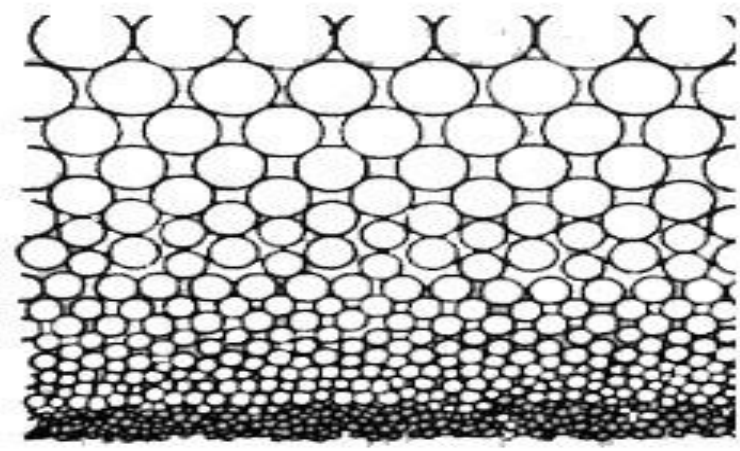
1.2.9.1 แบบสารกรองเดี่ยว- ไหลลง (single media downflow filter) เครื่องกรองที่ประเทศไทยใช้ในปัจจุบันส่วนมากจะเป็นแบบนี้ ระบบนี้ใช้ทรายละเอียดเป็นสารกรองโดยมีกรวดซึ่งมีขนาดใหญ่มารองรับหรือใช้ Strainer แทนชั้นกรวดหยาบเพื่อป้องกันไม่ให้ทรายรั่วไหลออกจากเครื่องกรองในขณะที่กรองน้ำ เนื่องจากทรายมีขนาดเล็กช่องว่าง (void) ระหว่างเม็ดทรายมีน้อย ทำให้ดักจับตะกอนได้ไม่มาก ช่วงเวลาการกรองน้ำจะสั้น อุดตันเร็ว ทำให้มีค่าสูญเสียความดันสูง ถ้าน้ำมีความขุ่นมาก (high solid loading) ความขุ่นที่กรองไว้จะไปพอกตัวเป็นชั้นตะกอนอยู่บนผิวหน้าของชั้นสารกรอง ทำให้อุดตันง่าย จึงต้องทำการล้างย้อนบ่ อย ดังภาพประกอบ ที่ 1-6 เป็นภาพที่แสดงถึงลักษณะการเรียงของเม็ดสารกรองที่ใช้กันมาก คือ เม็ดเล็กอยู่ข้างบน เม็ดใหญ่อยู่ข้างล่าง ทำให้มีอายุการใช้งานสั้น และภาพประกอบที่ 1-7 เป็นการจัดเรียงเม็ดสารกรองที่ดี คือ เม็ดใหญ่อยู่บนสุดและค่อยๆเล็กลงตามลำดับ แบบนี้จะมีช่องว่างระหว่างเม็ดมาก ทำให้ดักจับตะกอนไว้ได้มาก (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2543) ส่วนภาพประกอบ ที่ 1-8 เป็นภาพแสดงแสดงการเรียงตัวของสารกรอง ในเครื่องกรองแบบที่ดีที่สุด ตามทฤษฎี จะเห็นได้ว่าเม็ดสารกรองมีขนาดลดลงตามทิศทางการไหลของน้ำ (ซึ่งไหลจากข้างบนลงล่าง) ในทางปฏิบัติหากใช้สารกรองชนิดเดียวก็ไม่สามารถจะหาสารกรองที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมมาเรียงได้ตามรูป เพราะสารกรองที่มีขนาดใหญ่จะต้องมีน้ำหนักเบา สารกรองขนาดเล็กมีน้ำหนักมาก (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)



ภาพประกอบที่ 1-6 ภาพตัดขวางของชั้นทรายของเครื่องกรองแบบธรรมดา
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542

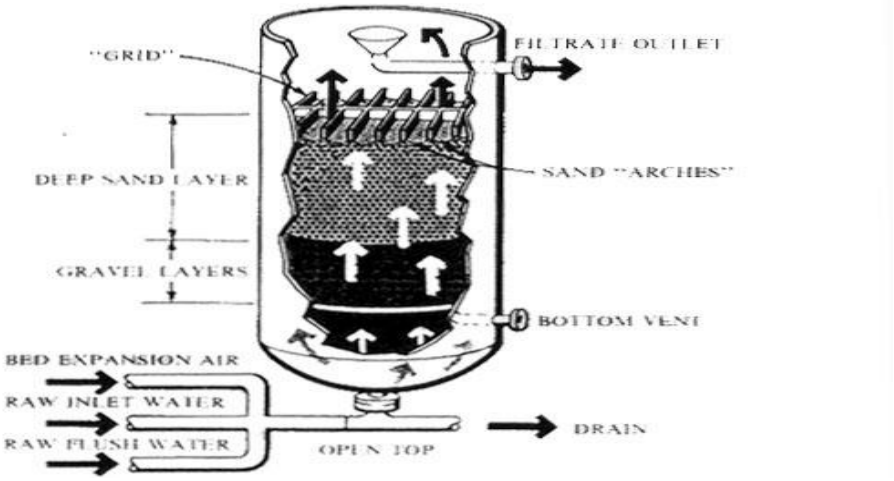


ภาพประกอบที่ 1-7 ภาพตัดขวางของเครื่องกรองแบบสองชั้นกรอง
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542



ภาพประกอบที่ 1-8 ภาพตัดขวางของเครื่องกรองแบบอุดมคติ
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542

1.2.9.2 สารกรองเดี่ยว- ไหลขึ้น (single media upflow filter) เนื่องจากเหตุผลที่ว่าการกรองผ่านสารกรองที่มีช่องว่างมากทำให้เพิ่มประสิทธิภาพและระยะเวลาการกรองให้ยาวนานขึ้น ฉะนั้นถ้ามีการเรียงสารกรองแบบปกติ คือ จากเม็ดละเอียดไปสู่เม็ดหยาบ และให้น้ำไหลย้อนจากด้านล่างไปสู่ด้านบนก็จะเป็นการกรองโดยผ่านชั้นกรองที่มีช่องว่างมากไปสู่ช่องว่างน้อย การไหลแบบนี้จะหลีกเลี่ยงการอุดตันของสารกรองได้ดีขึ้น โดยสามารถใช้งานได้ยาวนานขึ้น แสดงดังภาพประกอบที่ 1-9



ภาพประกอบที่ 1-9 แสดงเครื่องกรองแบบไหลขึ้น
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542

1.2.9.3 สารกรองผสม-ไหลลง (mixed media downflow filter) ใช้สารกรองหลายอย่างผสมกัน หลักการใช้สารกรองผสมจะต้องเลือกสารกรองที่มีความถ่วงจำเพาะหรือความหนาแน่นแตกต่างกัน โดยสารกรองที่มีขนาดใหญ่ต้องมีความถ่วงจำเพาะต่ำหรือความหนาแน่นต่ำ ส่วนสารกรองที่มีขนาดเล็กต้องมีความถ่วงจำเพาะสูงหรือความหนาแน่นสูง (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2543) ที่นิยมใช้กันมากมีดังนี้ ถ่านแอนทราไซต์ มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.5 ขนาดที่ใช้ประมาณ 1 มม.อยู่ชั้นบนสุด ทราย มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.6 ขนาดที่ใช้ประมาณ 0.5 มม.อยู่ชั้นล่าง นอกจากนี้อาจใช้ทรายกาเน็ท (garnet sand) มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 3.8 ขนาดที่ใช้ประมาณ 0.3 มม. และแร่อิลมีไนต์ ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 4.5 ขนาดที่ใช้ประมาณ 0.3 มม. (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) การล้างย้อนให้น้ำไหลจากด้านล่างไปสู่ด้านบน สารกรองจะแยกตัวและจัดเรียงใหม่โดยที่สารกรองที่มีน้ำหนักมากจะต กลงสู่ด้านล่าง สารกรองที่มีน้ำหนักเบาอยู่ด้านบน

1.2.9.4 สารกรองคู่-ไหลสองทาง (dual media biflow filter) เป็นระบบการกรองที่ใช้สารกรองสองชนิดและแยกเป็น 2 ส่วนและกรองทั้งสองด้านทั้งไหลขึ้นและไหลลง การใช้สารกรองคู่ทำให้อัตราการกรองเพิ่มสูงกว่าแบบปกติ จัดเป็น Ultra high rate filter น้ำจะไหลผ่านสารกรองที่มีเม็ดหยาบมาสู่เม็ดละเอียดทั้งสองด้าน สารกรองจะไม่ลอยตัว เนื่องจากมีแรงดันจากน้ำกรองทั้งสองด้าน

1.2.10 ประเภทของเครื่องกรองทราย

1.2.10.1 เครื่องกรองทรายแบบกรองช้า เป็นเครื่องกรองที่ใช้พื้นที่มาก มีขนาดใหญ่ ใช้ทรายละเอียดเป็นสารกรอง (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2543) ใช้ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นต่ำ การกรองน้ำด้วยอัตราต่ำ สามารถกำจัดความขุ่นได้โดยไม่ต้องใช้สารเคมีช่วยในการรวมตะกอนเพื่อให้เป็นฟล็อกและไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนเพื่อกำจัดความขุ่นและฟล็อก ถังกรองช้าหรืออาจเรียก Bio filter หรือถังกรองชีว มีขั้นตอนการกรองอยู่ 3 ขั้นตอน คือ ชั้นกรองทรายหยาบด้วยอัตราการกรอง 0.8-1.2 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ชั้นกรอง Pre filter ด้วยอัตราการกรอง 0.4-0.8 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. และชั้นกรองช้าด้วยอัตราการกรอง 0.1-0.2 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เครื่องกรองทรายแบบกรองช้านี้ มีการสูญเสียแรงดัน เกิดขึ้นน้อย เนื่องจากใช้อัตราการกรองต่ำ โดยปกติเครื่องกรองช้าต้องการการทำความสะอาดประมาณเดือนละครั้ง ส่วนเครื่องกรองหยาบและ Pre filter อาจต้องล้างบ่อยกว่า

1.2.10.2 เครื่องกรองทรายแบบกรองเร็ว เป็นเครื่องกรองเร็วที่สามารถกรองน้ำ ได้สูง มีอัตราตั้งแต่ 4-50 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. กำจัดความขุ่นโดยต้องใช้สารเคมีช่วยในการรวมตะกอน และเนื่องจากมีอัตราการกรองสูงทำให้ต้องมีการทำความสะอาดบ่อย การทำความสะอาดสามารถกระทำได้โดย ปล่อยให้น้ำสะอาดไหลย้อนทิศทางการกรอง ชั้นกรองจะข ยายตัว ทำให้มีช่องว่าง

เพิ่มขึ้นความขุ่นที่จับอยู่ภายในก็จะหลุดออกไปกับน้ำสะอา ด การล้างย้อนนี้ได้ผลดียิ่งขึ้น ถ้ามีการช่วยให้เม็ดทรายเสียดสีกัน เพื่อขจัดเอาความสกปรกที่จับอยู่บนผิวทรายให้ หลุดออกไป วิธีการช่วยให้มีการเสียด สีเพื่อให้การล้างย้อนเครื่องกรองได้ดีขึ้น ได้แก่ การฉีดลมหรือน้ำที่มีแรง ดันสูงไปกระทบกับผิวชั้นทรายที่กำลังขยายตัวหรือใช้เครื่องกวน เป็นต้น วิธีการกรองเร็วมี 2 ลักษณะ คือ

1.2.10.2.1 การกรองโดยตรง (direct filtration) ไม่ต้องมีการกำจัดความขุ่นออกก่อนด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและตกตะกอน การกรองโดยตรงอาจมีการเติมสารเคมีให้กับน้ำก่อนเข้าเครื่องกรองหรือไม่ก็ได้

ก. การกรองโดยตรงที่ไม่ใช้สารเคมี การกรองแบบนี้ต้องแน่ใจว่าคุณภาพของน้ำไม่แปรปรวนและน้ำมีความขุ่นต่ำ มิฉะนั้นจะเกิดปัญหาอุดตันเร็วและได้น้ำที่มีคุณภาพไม่ดี สามารถกรองน้ำได้ตั้งแต่อัตรากรอง 4-25 ลบ.ม/ตร.ม.-ชม.

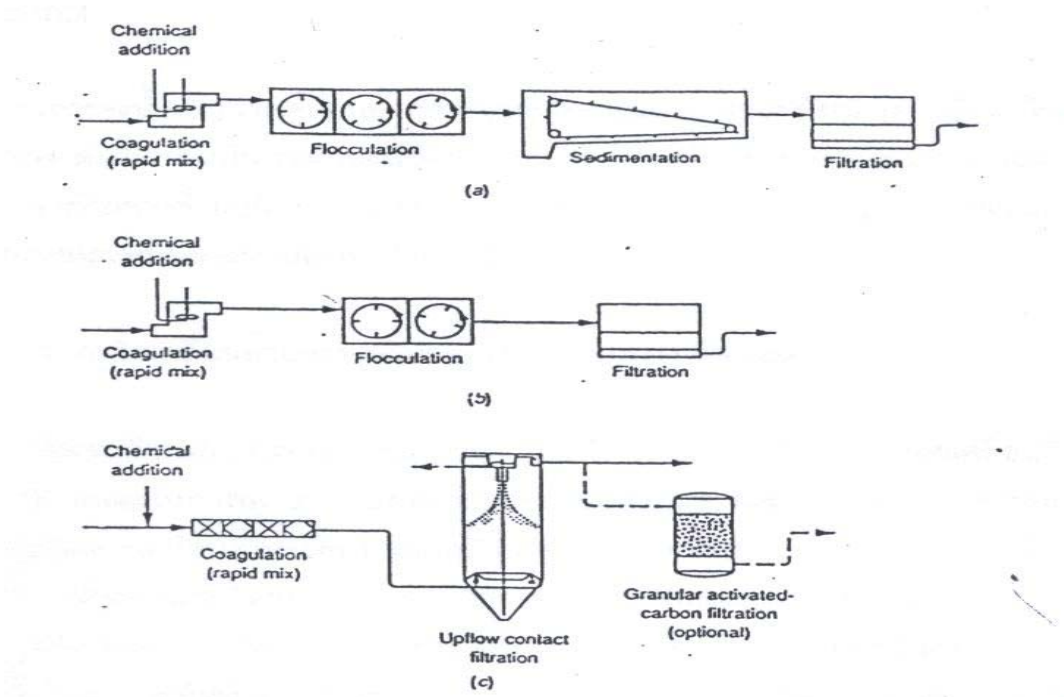
ข. การกรองโดยตรงที่ใช้สารเคมี การใส่สารเคมีในน้ำก่อนเข้าเครื่องกรอง ต้องแน่ใจว่าเกิดการกวนเร็ว (rapid mixing) ก่อนมีการกรองเกิดขึ้น เพราะการเติมสารเคมีก็เพื่อทำลายความคงตัว (destabilization) ของความขุ่น เป็นผลให้การดูดติดผิวระหว่ างความขุ่นกับสารกรองหรือความขุ่นกับความขุ่นเกิดขึ้นได้อย่างแน่นอน ดังนั้นสารเคมีที่นิยมใช้เป็นโคแอกกูแลนท์ ได้แก่ ส ารส้ม ซึ่งปริมาณสารส้มที่ใช้อยู่ ในช่วง 2-10 มก./ลิตร และไม่ใช้มากกว่า 15 มก./ลิตร เพราะจะไปทำให้ชั้นทรายเหนียวจับตัวกันมากเกินไป ส่งผลให้ชั้นกรองอุดตันเร็วและล้างได้ยาก ในบางครั้งจำเป็นต้องปรับพีเอชก่อนหรือเติมโคแอกกูแลนท์เอด (coagulant aid) เช่นใช้ Cationic Polymer (โพลีเมอร์ที่มีประจุบวก)

1.2.10.2.2 การกรองน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันและตกตะกอนมาแล้ว (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

1.2.11 การกรองโดยตรงและ การกรองสัมผัส (Direct filtration and Contact flocculation filtration)

กระบวนการผลิตน้ำประปาโดยทั่วไป ในขั้นตอนแรกจะมีการเติมสารเคมีเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์หรือที่เรียกว่า โคแอกกูเลชัน ซึ่งเกิดในอุปกรณ์การกวนเร็ว เมื่ออนุภาคถูกทำลายเสถียรภาพแล้วจะเกิดการชนกันแ ละจับตัวเป็นกลุ่มตะกอนหรือฟล็อก ในถังกวนช้าหรือถังรวมตะกอนซึ่งใช้ในการสร้างโอกาสสัมผัสและรวมตัวเกิดเป็นกลุ่มตะกอนขนาดใหญ่ จากนั้นแยกตะกอนที่เกิดขึ้นออกจากน้ำในถังตกตะกอน น้ำใสเข้าสู่ระบบกรอง (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) แต่ในการกรองโดยตรงน้ำจะผ่านการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชันหรือการรวมตะกอนก่อนจึงเข้าสู่ชั้นกรอง (Culp, 1977) ส่วนระบบกรองสัมผัสแตกต่างจากการ

กรองโดยตรงคือ กระบวนการฟล็อกกูเลชันของการกรองสัมผัสเกิดขึ้นในชั้นกรอง จึงเป็นการรวมกระบวนการ ฟล็อกกูเลชันและกระบวนการกรองไว้ในระบบเดียว (Adin and Rebhun, 1974) โดยชั้นกรองจะช่วยเพิ่มอัตราการสัมผัสและบังคับให้อนุภาคต่างๆ เ คลื่อนที่มาชิดกันทำให้เกิดการชนสัมผัสและการเกาะติดระหว่างอนุภาคกับอนุภาค และอนุภาคกับสารกรองแล้วติดค้างอยู่บนผิวหน้าของเม็ดสารกรอง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1-10



ภาพประกอบที่ 1-10 การเปรียบเทียบกระบวนการกรองโดย (a) การกรองแบบสมบูรณ์ (b) การกรองโดยตรง (c) การกรองสัมผัส

ที่มา : Metcalf and Eddy, 1991

1.2.11.1 หลักการทำงาน

ระบบกรองสัมผัสเป็นระบบที่ดัดแปลงมาจากระบบกรองโดยตรง แต่ยังคงเกี่ยวข้องกับกระบวนการพื้นฐานทั้ง 3 กระบวนการคือ กระบวนการโคแอกกูเลชัน ฟล็อกกูเลชัน และกระบวนการกรอง (Metcalf and Eddy, 1991) ซึ่งน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน ฟล็อกกูเลชันมาแล้วตะกอนจะมีอนุภาคขนาดเล็ก และจะแทรกผ่านเข้าไปในช่องว่างของชั้นสารกรอง (ณรงค์ วุทธเสถียร , 2543) ซึ่งการรวมตะกอนจะเกิดขึ้นในช่วงที่อนุภาคหรือกลุ่มตะกอนเล็กๆสัมผัสกับ สารกรอง ที่ใช้ในการกรอง ซึ่งกลุ่มตะกอนจะรวมตัวกันภายในช่องว่างของเครื่อง

กรองแล ะขยายขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถถูกกักไว้ในช่องว่างแต่ละช่องของเครื่องกรอง (Metcalf and Eddy, 1991) และ NGO and Vigneswaran (1995) ได้ทำการทดลองระบบกรองสัมผัส โดยใช้สารกรองเม็ดพลาสติกโพลีโพรพีลีน (polypropylene) และทรายกรอง ซึ่งการรวมตะกอนเกิดขึ้นหลังจากการเติมสารเคมีลงในน้ำแล้ว อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพจะรวมกันเป็นกลุ่มตะกอนขนาดเล็ก แล้วเข้ามาสัมผัสและรวมเป็นกลุ่มตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในชั้น สารกรองเม็ดพลาสติกซึ่งมีช่องว่างระหว่าง สารกรอง มาก และจากคุณสมบัติลอยน้ำได้ขอ งสารกรอง เม็ดพลาสติกทำให้มีความสามารถในการยืดหยุ่นและขยายขนาดของชั้นกรองได้เพิ่มมากขึ้น ทำให้กลุ่มตะกอนที่สัมผัสจนมีขนาดใหญ่แล้วสามารถถูกกักไว้ในชั้น สารกรอง ได้มาก จากนั้นชั้นทรายกรองเป็นตัวกรองเอากลุ่มตะกอนขนาดเล็กที่สามารถหลุดออกไปได้เก็บไว้

1.2.11.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระบบกรองโดยตรงหรือกรองสัมผัส

1.2.11.2.1 คุณภาพน้ำที่เข้าระบบ

คุณภาพน้ำดิบเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความเหมาะสมในการใช้งานขอ งระบบการกรอง ซึ่งเงื่อนไขสำคัญของการกรองโดยตรง คือ น้ำดิบต้องมีความขุ่นต่ำ และมีสีน้อ ย (มั่น สิน ตัณฑุลเวศม์ , 2542) โดย สามารถใช้กับน้ำดิบที่มีความขุ่นไม่เกิน 10 NTU (ปรีชา แสงพิสิทธิ์, 2531) และความขุ่นไม่เกิน 30 NTU สำหรับการกรองสัมผัส (Adin and Rebhun, 1974) แต่ไม่ควรใช้กับน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงกว่า 100-200 NTU (Culp, 1977) และคุณภาพน้ำดิบที่ยอมรับได้สำหรับการกรองโดยตรง คือ มีค่าความขุ่น 0-10 NTU สี 1-15 หน่วยและปริมาณสาหร่าย 0-1000 หน่วยต่อมิลลิลิตร (McCormick and King, 1982)

1.2.11.2.2 การเตรียมน้ำก่อนกรอง

ในการผลิตน้ำให้ได้คุณภาพนั้น สิ่งหนึ่งที่สำคัญมาก คือ การเตรียมน้ำก่อนกรองด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน ซึ่งการเตรียมน้ำเพื่อการกรองที่ดีนั้นจะต้องมีการสร้างฟล็อกที่มีความแข็งแรง มีแรงยึดเกาะสูงสามารถต้านทางแรงเฉือนที่เกิดจากการไหลได้ดี เพื่อจะทำให้ได้น้ำที่มีคุณภาพโดยที่ไม่ทำให้เกิดการสูญ เสียแรงดัน เร็วเกินไป ซึ่งการเตรียมน้ำก่อนกรองด้วยกระบวนการโค แอกกูเลชันหรือการตกตะกอนทางเคมี เป็นสิ่งสำคัญในการผลิตน้ำให้มีคุณภาพ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ , 2542) ซึ่งจากศึกษาการกรองด้วยสารกรองหลายชั้นของ พรชัย ธรณธรรม (2515) พบว่า การนำเครื่องกรองแบบหลายชั้นมากำจัดความขุ่นของน้ำดิบที่มีความขุ่นไม่เกิน 5 NTU โดยไม่เตรียมน้ำก่อนกรองจะมีประสิทธิภาพการกรองเพียงร้อยละ 40 แต่เมื่อใช้สารส้มเตรียมน้ำก่อนกรอง พบว่า สามารถกำจัดความขุ่นได้อย่างมีนัยสำคัญ เพราะ ในขั้นตอนการเ ติมสารสร้างตะกอนในระหว่างการกวนเร็วมีความสำคัญ ต่อการรวมตัวของอนุภาค

คอลลอยด์ในขั้นตอนการกวนช้า กล่าวคือ จะทำให้กลุ่มฟล็อกรวมตัวกันแน่นดีกว่าการรวมตัวกันโดยที่ไม่มีการกวนเร็วเลย (Hudson, 1965) ถึงแม้ว่าจะกรองน้ำในอัตรากรองที่ต่ำกว่า 4.8 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ก็ไม่สามารถที่จะผลิตน้ำที่มีคุณภาพได้ (Kawamura, 1975) ซึ่งการใช้ระยะเวลาในการกวนเร็วหลังเติมสารเคมีเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ประมาณ 1 วินาทีก็เพียงพอต่อการเกิดโคแอกกูเลชันสำหรับการกรองสัมผัส (Ngo and Vigneswaran, 1995) นอกจากนี้ พบว่าโอกาสที่เครื่องกรองจะหมดอายุการใช้งานจะมีมากขึ้นตามปริมาณสารสร้างตะกอนที่เพิ่มขึ้น และปริมาณสารสร้างตะกอนที่มากกว่า 20 มก./ลิตร จะชักนำให้เกิดการหมดอายุการใช้งานอย่างรวดเร็ว (Hutchison ,1976) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2542) กล่าวว่า โดยปกติปริมาณสารส้มที่ใช้สำหรับการกรองโดยตรงจะอยู่ในช่วง 2-10 มก./ลิตร และไม่ควรใช้มากกว่า 15 มก./ลิตร ทั้งนี้เนื่องจากจะไปทำให้ชั้นทรายกรองเหนียวและจับตัวกันมากเกินไปจนเป็นเหตุทำให้ชั้นกรองเกิดการอุดตันเร็วและล้างยาก

1.2.11.2.3 สารกรอง

สารกรองเป็นสิ่ งที่มีความสำคัญอย่างหนึ่ง สำหรับการกรองน้ำให้ได้คุณภาพซึ่งการใช้สารกรองขนาดเล็ก เช่น ทรายจะทำให้ผลิตน้ำได้ใส กำจัดความขุ่นออกได้มากแต่จะเกิดการอุดตันเร็ว (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ , 2542) แต่ถ้าใช้สารกรองหยาบ เช่น ถ่าน แอนทราไซต์จะเกิดการอุดตันช้าแต่จะให้น้ำไม่ใสเท่าที่ควรด้วยเหตุนี้เครื่องกรองแบบสารกรอง สองชนิดหรือสารกรองหลายชนิดจึงมีความเหมาะสมมากกว่าเครื่องกรองทรายธรรมดา (ณรงค์ วุทธเสถียร , 2543) ซึ่งสอดคล้องกับ Schulz และ Okun (1984) ที่กล่าวว่า ระบบกรองโดยตรงเป็นระบบที่ไม่มีหน่วยตกตะกอน สิ่งสกปรกทั้งหมดจึงถูกกักเก็ บไว้ในชั้นของสารกรอง ดังนั้น ควรมีการออกแบบให้สารกรองมีพื้นที่มากเพียงพอสำหรับเก็บกักสิ่งสกปรกต่างๆ ไว้ โดยการเลือกใช้สารกรองแบบสองชั้นกรอง (Dual media) เพื่อเก็บกักสิ่งสกปรกไว้ในชั้นกรอง ซึ่งมีตัวอย่างของการทดลองแบบสองชั้นกรอง เช่น Culp (1977) ได้ทำการทดลองระบบกรองโดยตรงแบบ 2 ชั้นกรอง โดยในการทดลองได้เปรียบเทียบสารกรองชั้นเดียวกับสองชั้น พบว่า สารกรองแบบชั้นเดียวไม่เหมาะสมสำหรับการกรองโดยตรงควรใช้สารกรองแบบสองชั้นเพื่อลดการอุดตันของชั้นกรอ งและสารกรองแบบสองชั้นกรองสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพมากกว่าเช่นเดียวกับชั้นกรองที่ประกอบด้วยสารกรอง 3 หรือ 4 ชนิด แต่ต้องใช้สารเคมีใน ปริมาณมากกว่าและมีระยะเวลาการกรองสั้นกว่า เช่นเดียวกับ Tebbutt (1971) ศึกษากระบวน การกรองเร็ว พบว่า การใช้สารกรองสอง ชนิด คือ ทรายขนาด 0.5-1.0 มม. และแอนทราไซต์ ขนาด 1.0-2.5 มม. ความสูงชั้นละ 30.0 ซม. ทำให้ระยะเวลาในการเดินระบบยาวนานกว่าการกรองแบบสารกรองชั้นเดียว และไม่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของชั้นกรองลดลง ซึ่ง Tchobanoglous and Schroeder (1985) ได้รายงานว่าชั้นถ่านแอนทราไซต์จะทำ

หน้าที่ในการสร้างกลุ่มตะกอนและเก็บกักกลุ่มตะกอนที่เกิดขึ้นไว้ภายใน ชั้นกรอง ชั้นถ่านต้องมีความสูงไม่น้อยกว่า 33.0 ซม. และรูปแบบต่างๆของสารกรองที่ใช้ในระบบกรองสัมผัสจะให้ผลที่ดีที่สุด เมื่อเรียงจากสารกรองหยาบไปละเอียด (Shea *et al*, 1971)

1.2.11.2.4 อัตราเร็วในการกรอง

อัตราเร็วในการกรองขึ้นอยู่กับความขุ่นและคุณภาพของน้ำที่ต้องการ โดยทั่วไปอัตราเร็วในการกรองยิ่งต่ำประสิทธิภาพของเครื่องกรองยิ่งสูงแต่จะผลิตน้ำได้น้อยและช้า อย่างไรก็ตามอัตราเร็วในการกรองมิได้เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด เครื่องกรองที่มีอัตราเ ร็วในการกรองสูงก็สามารถผลิตน้ำได้มีคุณภาพ ซึ่งระบบกรองโดยตรงสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูงที่อัตรากรอง 2.5-20.0 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. โดยอัตราเร็วในการกรองที่เหมาะสมในการออกแบบและใช้งาน คือ 12.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. (Culp, 1977) ส่วนระบบกรองสัมผัสสามารถผลิต น้ำที่มีคุณภาพได้ดีที่อัตรากรอง 5-8 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. (Ngo and Vigneswaran, 1995) เช่น Tachapattaworakul (2001) ได้เปรียบเทียบอัตราการกรอง 3 อัตรา คือ 5, 7.5 และ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่าอัตราการกรองที่ดีที่สุดสำหรับทุกตัวกรอง คือ 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ส่วน ปรีชา แสงพิสิทธิ์ (2531) ทำการทดลองระบบกรองโดยตรงกับน้ำที่มีความขุ่น 10 NTU ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อัตรากรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เช่นเดียวกับ Sweeney (1974) ศึกษาการกรองโดยตรง พบว่า อัตรากรองสำหรับระบบกรองโดยตรงสามารถกรองได้ถึง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. แต่โดยทั่วไปแล้วอัตรากรองที่เหมาะสม คือ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. แต่ Madeesuksatid (1994) ทำการทดลองระบบกรองสัมผัส พบว่า อัตราการกรองที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 7.5 – 12.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. และในการออกแบบถังกรองสำหรับฟล็อกที่ไม่แข็งแรง ควรออกแบบให้อัตราเร็วในการกรองไม่เกิน 7.3 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. (Kugelman, 1976)

1.2.11.2.5 อัตราส่วนสารกรอง

อัตราส่วน สารกรองมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและการสูญเสียความดันในชั้นสารกรอง จากการศึกษา อัตราส่วน สารกรองในระบบกรองสัมผัสเพื่อผลิตน้ำประปาและน้ำเสียพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันโดย อัตราส่วน ที่เหมาะสมกับน้ำประปาจากการศึกษาของ Tachapattaworakul (2001) ใช้สารก รอง 3 ชนิด คือ ทรายร่วมกับ แอนทราไซต์ ทรายร่วมกับเม็ดพลาสติกชนิดโพลีสตรัยรีนและ ทรายร่วมกับ โพลีเอทิลีน อัตราส่วน สารกรองที่ใช้เท่ากับ 55:45 ส่วนน้ำเสียจากการศึกษาของแสงระวี รัชตนันทิ (2541) ใช้สารกรอง 2 ชนิด คือ เม็ดพลาสติกและซีโอไลต์ โดยมี อัตราส่วน สารกรองดังนี้ 60:20, 50:30 และ 40:40 กำหนดอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 1 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่า อัตราส่วนสารกรองที่เหมาะสมของระบบคือ 50:30

1.2.11.2.6 สารสร้างตะกอน

เป็นสารที่ช่วยทำให้อนุภาคต่างๆ ที่แขวนลอยอยู่มารวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ มีน้ำหนักแล้วจมลง ซึ่งมีความสำคัญในการกำจัดความขุ่นของน้ำ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) โดย Adin และ Rebhun (1974) พบว่าโพลีอิเลคโตรไลต์ประจุบวกสามารถกรองน้ำได้ดีที่อัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. นอกจากนี้ยังพบว่าสารส้มจะทำให้มีสลัดจ์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการตกตะกอนของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ และการใช้ สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนเพียงสารเดียวไม่เพียงพอที่จะกรองด้วยอัตรากรองที่สูงในตัวกรองหยาบ โดยประสิทธิภาพของการกรองที่ใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียวให้ผลดีที่สุดเมื่อทดลองด้วยอัตราเร็วในการกรองอยู่ในช่วง 5-10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. (Shea *et al*, 1971) และจากการศึกษาของ Grutsch *et al* (1977) พบว่า หากใช้สารสร้างตะกอน ในปริมาณที่น้อยเกินไปอาจทำให้ไม่เพียงต่อการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ในทางกลับกันหากใช้ในปริมาณมากเกินไปจะนำไปสู่การกลับคืนสู่การมีเสถียรภาพอีกครั้งของประจุบนผิวอนุภาคคอลลอยด์ หมายถึง ปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับปริมาณอนุภาคคอลลอยด์

1.2.12 ระบบการล้างสารกรองในชั้นกรอง

การล้างสารกรองมีความสำคัญต่อการกรองน้ำ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดสมรรถนะของเครื่องกรอง เครื่องกรองที่ล้างไม่พอจะทำให้มีการสะสมของสารแขวนลอยและสิ่งสกปรกอื่นๆ จะไม่สามารถผลิตน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2536) ปัจจัยที่ทำให้สิ่งสกปรกตกค้างอยู่ในช่องว่างของชั้นกรองหรือเกาะอยู่บนเม็ดสารกรองหลุดออกมามี 2 ปัจจัย คือ แรงเฉือนที่เกิดจากการไหลของน้ำและการขัดสีระหว่างเม็ดสารกรอง (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) โดยระบบการล้างสารกรองในชั้นกรองมีหลายวิธี ได้แก่

1.2.12.1 ระบบใช้น้ำล้างอย่างเดียว คือ พยายามทำให้สารกรองในชั้นกรองลอยกระจัดกระจายขึ้นมา เพื่อปล่อยให้ตะกอนที่สะสมอยู่ในชั้นกรองหลุดลอยออกมาได้ โดยพยายามออกแบบให้ได้ค่าความพรุน (porosity) ของชั้นกรองขณะที่กำลังลอยกระจัดกระจายขึ้นมามีประมาณ 0.6-0.7 เช่น กรณีใช้ทรายเป็นสารกรอง การล้างย้อนจะได้ผลดีที่สุดเมื่อทรายขยายตัวจนมีความพรุนเท่ากับ 0.7 หรือระดับการขยายตัวเท่ากับร้อยละ 30-40 (Amirtharajah, 1978)

1.2.12.2 ระบบใช้น้ำล้างสารกรองพร้อมทั้งมีระบบชะล้างสารกรองบริเวณผิวบนของชั้นกรองระบบนี้จะมีการชะล้างสารกรองบริเวณผิวบนของชั้นกรอง เพื่อให้แน่ใจว่าการล้างสารกรองจะสะอาด การดำเนินการของระบบล้างสารกรองนี้ คือทำการชะล้างผิวบนของสารกรอง

เสียก่อนประมาณ 1 หรือ 2 นาที จากนั้นจึงทำการล้างสารกรอง โดยให้ไหลย้อนผ่านชั้นกรอง อัตราการชะล้างผิวบนของสารกรองประมาณ 1.2-24. ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.

1.2.12.3 ระบบใช้น้ำล้างสารกรองพร้อมทั้งมีระบบพ่นอากาศเพื่อช่วยในการขัดถู ซึ่งระบบนี้จะพ่นอากาศเข้าไปในชั้นกรองประมาณ 3-4 นาทีเพื่อขัดถูให้ตะกอนหลุดออกจากสารกรอง โดยทั่วไปจะพ่นอากาศเข้าไปด้วยอัตราการพ่นอากาศประมาณ 10-16 ลบ.ม./ตร.ม.-นาที ซึ่ง Medesuksatid (1994) เสนอว่า การล้างย้อนให้ใช้อากาศและน้ำ โดยใช้แรงดันอากาศ 303.9 kPa เป็นเวลา 3 นาที ตามด้วยน้ำที่อัตราเร็ว 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ประมาณ 12 นาที ส่วน Ngo และ Vigneswaran (1995) ได้ทำการล้างย้อนในระบบกรองสัมผัส โดยใช้แรงดันอากาศ 35-70 kPa เป็นเวลา 2 นาที ตามด้วยน้ำล้างย้อนที่อัตราเร็ว 6 ลิตร/ตร.ม.-วินาที เป็นเวลา 5 นาที และ Tachapattaworakul (2001) ทำการล้างย้อนโดยใช้แรงดันอากาศ 73 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.เป็นเวลา 2 นาทีแล้วตามด้วยน้ำ 39 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.เป็นเวลา 5 นาที

1.2.12.4 ระบบน้ำล้างรวมกับพ่นอากาศ ระบบนี้ใช้น้ำและอากาศพร้อมกันเข้าภายในชั้นกรองประมาณ 2-3 นาที และทำการล้างสารกรองอีกครั้งประมาณ 2-3 นาที เพื่อไล่ฟองอากาศที่ยังหลงเหลืออยู่ภายในชั้นกรองออกให้หมด (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2536) ซึ่งอัตราการล้างสารกรองต่ำสุดสำหรับชั้นกรองชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1-2 ส่วนอัตราการใช้น้ำและอากาศเพื่อล้างสารกรองในชั้นกรองได้ ดังแสดงในตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1-2 อัตราล้างสารกรองต่ำสุดที่ยอมให้ได้สำหรับชั้นกรองชนิดต่างๆ

ชนิดของชั้นกรอง	อัตราล้างสารกรองต่ำสุดที่ยอมให้ได้ (ลบ.ม./ตร.ม.-นาที)
แบบหนึ่งชั้นกรอง (sand)	1.8-2.0
แบบสองชั้นกรอง (anthracite and sand)	0.8-1.2
แบบสามชั้นกรอง (anthracite sand and garnet or ilmenite)	0.8-1.2

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2536

ตารางที่ 1-3 อัตราการใช้น้ำและอากาศเพื่อล้างสารกรองในชั้นกรอง

ชั้นกรอง	ขนาดของสารกรอง (มม.)	Uniformity coefficient	อัตราล้างสารกรอง น้ำ	อากาศ
			(ลบ.ม./ตร.ม.-นาที)	(ลบ.ม./ตร.ม.-นาที)
Sand	1.0	1.4	0.4	13.1
	1.4	1.4	0.6	19.7
	2.1	1.3	0.8	26.2
Anthracite	1.1	1.7	0.2	6.6
	1.3	1.4	0.4	13.1
	2.0	1.5	0.6	19.7

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2536

1.2.13 การเปรียบเทียบการทำงานของถังกรองทรายกับถังกรองทรายร่วมกับแอนทราไซต์

การใช้แอนทราไซท์กรองน้ำร่วมกับทรายกรองทำให้อัตราการผลิตน้ำมา กกว่าทรายกรองเพียงอย่างเดียวในขณะที่ขนาดพื้นที่การก รองเครื่องเท่ากัน เนื่องจาก แอนทราไซท์มีความพรุนมากกว่าและมีรูปร่างแตกต่างกันทำให้ไม่จับตัวแน่นเหมือนทรายกรอง แต่สามารถจับตะกอนแขวนลอ ยได้มากกว่าทรายกรอง ทำให้สามารถ เพิ่มปริมาณการผลิตน้ำได้มากขึ้น โดยไม่ต้องขยายพื้นที่การกรอง แอนทราไซท์มีน้ำหนักน้อยกว่าทรายกรอง และมีลักษณะเป็นรูพรุ นที่สามารถดักจับสารแขวนลอยต่าง ๆ ได้ดีอีกทั้งเม็ดของแอนทราไซท์จะใหญ่กว่าทราย ดังนั้นเมื่อมีการล้างย้อนจะทำให้เม็ดแอนทราไซท์อยู่เหนือทราย ลักษณะเช่นนี้ทำให้มีการกรองความขุ่นได้ในปริมาณมากกว่า จึงทำให้อุดตันช้ากว่าการกรองแบบใช้ทรายกรองเพียงอย่างเดียว น้ำที่ใช้ในการล้างย้อนและแรงดันที่ใช้ก็น้อยกว่า ดังนั้นจึงประหยัดน้ำและค่าไฟฟ้าได้มากกว่า และไม่ต้องทำการล้างย้อนบ่อยเหมือนระบบกรองน้ำที่ใช้ทรายกรองเพียงอย่างเดียว (ไทยแลนด์แอนทราไซต์, 2551) ดังแสดงในตารางที่ 1-4

ตารางที่ 1-4 เปรียบเทียบถังกรองทรายกับถังกรองทรายร่วมกับแอนทราไซท์

ถังทรายกรอง	ถังทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์
1. อัตรากรองประมาณ 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.	1. อัตรากรองประมาณ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.
2. ทรายกรองมีน้ำหนักมาก จึงต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรงรองรับทำให้มีต้นทุนสูง	2. แอนทราไซต์มีน้ำหนักเบา จึงไม่ต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรงมากจึงมีต้นทุนต่ำกว่า
3. การอุดตัน เนื่องจากทรายกรองทำให้เกิดการอุดตันเร็ว จึงต้องมีการล้างทำความสะอาดบ่อย ทำให้มีระยะเวลาการกรองน้ำสั้นประมาณ 12 ชม. และในการล้างทำความสะอาดแต่ละครั้งใช้น้ำปริมาณมากกว่า	3. การอุดตัน แอนทราไซต์มีช่องว่างมากกว่า สามารถเก็บกักตะกอนได้มากกว่า จึงอุดตันช้ากว่า ไม่ต้องล้างทำความสะอาดบ่อย ทำให้มีระยะเวลาการกรองน้ำนานมากกว่า 24 ชม. และในการล้างทำความสะอาดแต่ละครั้งใช้น้ำปริมาณน้อยกว่า
4. มีค่าใช้จ่าย คือ ค่าน้ำ ค่าไฟสูงและสิ้นเปลืองเวลาของบุคลากรที่ต้องคอยดูแล	4. ประหยัดค่าน้ำ ค่าไฟ และเวลาที่บุคลากรต้องดูแล

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบการกรองสัมผัส ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่มีความขุ่นต่ำจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบกรองสัมผัส ได้แก่ ชนิดสารกรอง (ทรายและทรายร่วมกับแอนทราไซต์) คุณภาพน้ำดิบ อัตรากรอง และอัตราส่วนสารกรอง

3. เพื่อเปรียบเทียบ กระบวนการผลิตน้ำและค่าใช้จ่าย ของระบบกรองสัมผัสกับระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ทราบประสิทธิภาพของระบบ กรองสัมผัสในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ จากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

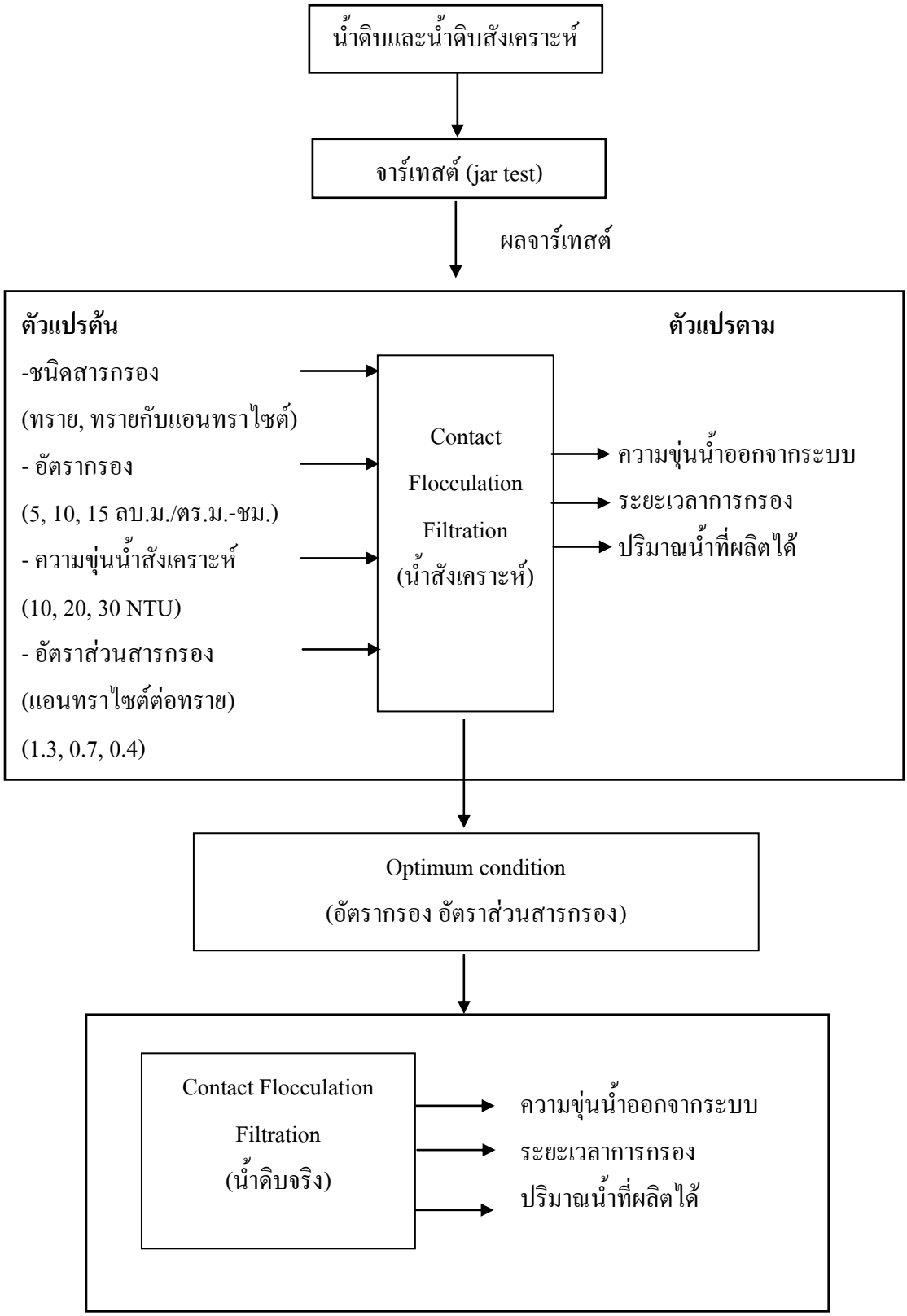
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ ระบบกรองสัมผัส ได้แก่ ชนิดสารกรอง คุณภาพน้ำดิบ อัตรากรองและอัตราส่วนของสารกรอง

3. ทราบ กระบวนการผลิตน้ำและค่าใช้จ่าย ของระบบกรองสัมผัสและระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาการกรองในกระบวนการผลิตน้ำประปา ซึ่งใช้น้ำดิบสังเคราะห์ทดลองเพื่อหา Optimum condition ของระบบ เป็นการกรอง แบบไหลลงประเภท กรองสัมผัส ชนิดสารกรองชนิดเดียว (Single media sand filter) และเป็นการ กรองสัมผัส ชนิดสารกรองสองชนิด (Dual media: anthracite and sand filter) ซึ่งเป็นการ กรอง สัมผัส แบบติดค้างในชั้นกรอง (In-Depth Filtration) และเติมสารสร้างตะกอน (สารส้ม) ในคอลัมน์ (ผลจากการทำจาร์เทสต์) เดินระบบอย่างต่อเนื่องจนกว่า สารกรองเกิดการอุดตัน ซึ่งดูจากค่าการสูญเสียแรงดัน (ค่าระดับน้ำจากมาโนมิเตอร์) มีค่าเท่ากับ 75 ซม. หรือความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบมีค่ามากกว่า 5 NTU จึงล้างสารกรอง โดยการ ใช้การอัด อากาศ 350-700 kPa เป็นเวลา 2 นาที และน้ำประปา อัตรา 39 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.เวลา 5 นาที โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ ของระบบกรองสัมผัส ได้แก่ ชนิดของสารกรอง คุณภาพน้ำดิบ อัตรากร อง และ อัตราส่วน ของสารกรอง เมื่อ ได้สภาวะการกรองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดแล้วจึงทดลองกับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

กรอบแนวคิด


น้ำดิบและน้ำดิบสังเคราะห์
จาร์เทสต์ (jar test)
ผลจาร์เทสต์
ตัวแปรต้น
ตัวแปรตาม
-ชนิดสารกรอง
(ทราย, ทรายกับแอนทราไซต์)
- อัตรากรอง
(5, 10, 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)
- ความขุ่นน้ำสังเคราะห์
(10, 20, 30 NTU)
- อัตราส่วนสารกรอง
(แอนทราไซต์ต่อทราย)
(1.3, 0.7, 0.4)
Contact
Flocculation
Filtration
(น้ำสังเคราะห์)
ความขุ่นน้ำออกจากระบบ
ระยะเวลาการกรอง
ปริมาณน้ำที่ผลิตได้
Optimum condition
(อัตรากรอง อัตราส่วนสารกรอง)
Contact Flocculation
Filtration
(น้ำดิบจริง)
ความขุ่นน้ำออกจากระบบ
ระยะเวลาการกรอง
ปริมาณน้ำที่ผลิตได้

บทที่ 2
วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

2.1.1 สารกรอง

- ทราย ขนาดเท่ากับ 0.5 มม. สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ เท่ากับ 1.5 และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.65 ดังภาพประกอบที่ 2-1
- แอนทราไซต์ ขนาดสัมฤทธิ์ เท่ากับ 1.0 มม. สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ เท่ากับ 1.4 และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.5 ดังภาพประกอบที่ 2-2

ภาพประกอบที่ 2-1 สารกรอง (ทรายกรอง)

ภาพประกอบที่ 2-2 สารกรอง (แอนทราไซต์)

2.1.2 สารเคมี

- สารส้ม โดยเตรียมเป็นสารละลายสารส้มมาตรฐาน (Stock alum solution) 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการละลายสารส้ม 1 กรัมในน้ำกลั่น 1 ลิตร
- เบนโทไนต์
- H_2SO_4 0.02 N
- Na_2CO_3
- Methyl orange

2.2 อุปกรณ์ ได้แก่

2.2.1 Jar tester

2.2.2 Turbidity meter HACH รุ่น 2100N

2.2.3 Conductivity meter YSI 3200

2.2.4 pH meter HACH Sessions 1

2.2.5 Spectrophotometer spectronic unicam รุ่น Genesys 10 UV

2.2.6 เครื่องชั่งไฟฟ้า

2.2.7 เครื่องสูบน้ำ (submersible pump)

2.2.8 เครื่องอัดอากาศ (air compresser)

2.2.9 Peristaltic Pump

2.2.10 เครื่องแก้วต่างๆ

2.2.11 ถังเก็บน้ำดิบ ขนาด 500 ลิตร จำนวน 2 ใบ

2.2.12 DEEP BED FILTER COLUMN W 5 ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองสัมผัส ทำในระดับ Laboratory scale ซึ่งเป็น Model สำเร็จรูป ดังแสดงในภาพ ประกอบที่ 2-3 และภาพการกรองสัมผัสทั้งระบบ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-4 ประกอบด้วย

2.2.12.1 อุปกรณ์

2.2.12.1.1 ถังกรองทำมาจากอะคริลิก มีพื้นที่ถัง 78.5 ลบ.ซม. ซึ่งถังกรองสามารถบรรจุสารกรองได้ 70 ซม. (A)

2.2.12.1.2 ถังเก็บน้ำ มีความจุ 350 ลิตรจำนวน 2 ถัง โดยถัง B1 ใส่น้ำประปาไว้สำหรับการล้างสารกรอง ส่วน B2 ใส่น้ำตัวอย่างสำหรับทำการทดลอง

2.2.12.1.3 Flow meter ทำหน้าที่วัดอัตราการไหลของน้ำได้ระหว่าง 0.5-5.0 ลิตรต่อนาที (C)

2.2.12.1.4 Flow controller มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของ Flow meter ให้คงที่ (D)

2.2.12.1.5 ปั๊ม (E)

2.2.12.1.6 Manometers จำนวน 38 หลอด เพื่อดูค่าสูญเสียความดันจะมีค่าเท่ากับ 75 ซม. (F)

2.2.12.1.7 Air compressor (G)

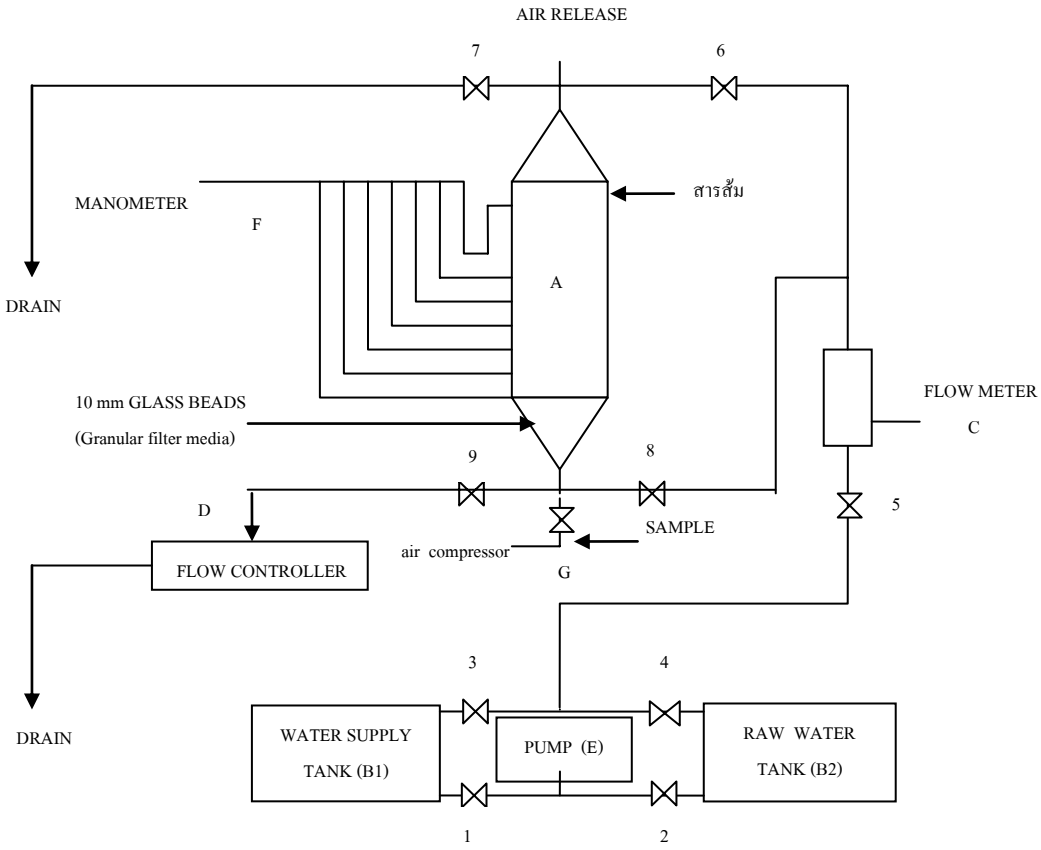
2.2.12.2 การกรองน้ำของ DEEP BED FILTER COLUMN W 5 จะประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ การกรองน้ำและการล้างสารกรองในชั้นกรอง ซึ่งการกรองน้ำเป็นแบบ ไหลลงและเป็นแบบไหลขึ้น เมื่อทำการล้างย้อนสารกรอง

2.2.12.2.1 การกรองน้ำ

ในการทดลองระบบกรองสัมผัสเมื่อเริ่มเดินระบบจะเปิดวาล์วตัวที่ 2, 5, 6 และตัวที่ 9 และปิดวาล์วตัวที่ 1, 3, 4, 7 และ 8 โดยจะเดินระบบจนกว่าสารกรองเกิดการอุดตันจึงหยุดระบบเพื่อทำการล้างสารกรอง

2.2.12.2.2 การล้างย้อน

จะทำการล้างย้อนสารกรองด้วยลมโดยจะอัดอากาศเข้าไปในถังกรองทางจุด G ที่แรงดันอากาศ 350-700 kPa เป็นเวลา 2 นาที และตามด้วยน้ำอัตรา 39 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.เวลา 5 นาที โดยจะเปิดวาล์วตัวที่ 1, 5, 7 และ 8 และปิดวาล์วตัวที่ 2, 3, 4, 6 และ 9



ภาพประกอบที่ 2-3 แผนผังของ DEEP BED FILTER COLUMN W 5

ภาพประกอบที่ 2-4 แผนภาพของ DEEP BED FILTER COLUMN W 5

2.3 วิธีดำเนินการวิจัย

2.3.1 การศึกษาคุณภาพน้ำดิบ

ศึกษาคุณภาพแหล่งน้ำดิบจาก อ่างเก็บน้ำศรีตรัง ตั้งแต่เดือน กันยายน 2550 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551 โดยทำการเก็บตัวอย่าง น้ำจำนวน 9 เดือน ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ตามวิธีที่ระบุใน Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater.20th (APHA, AWWA and WEF, 1998) โดยมีพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

พารามิเตอร์	เครื่องมือ/อุปกรณ์	วิธีอ้างอิง
พีเอช	pH meter HACH Sessions 1	Standard method 4500-H^+ B
ความขุ่น	Turbidity Meter HACH รุ่น 2100N	Standard method 2130 B
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity Meter YSI 3200	Standard method 2510B
ความเป็นด่าง	Titration method	Standard method 2320B
UV-254	Spectrophotometer spectronic unicam รุ่น Genesys 10 UV	Standard method 5910B

2.3.2 การเตรียมสารส้ม

2.3.2.1. เตรียมสารสะลายสารส้มมาตรฐาน (stock alum solution) 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการละลายสารส้ม ($Al_2 (SO_4)_3.14H_2O$) 1 กรัมในน้ำกลั่น 1 ลิตร

2.3.2 2. นำสารละลายสารส้มมาตรฐานไปใช้ในการทำจาร์เทสต์ คำนวณโดยการใช้สูตร $C_1V_1 = C_2V_2$ (ได้ปริมาณสารส้ม 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ลิตร)

2.3.3 การหาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมโดยวิธีการทำจาร์เทสต์ (jar test)

เตรียมน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรังและ น้ำดิบสังเคราะห์ สำหรับทำจาร์เทสต์ ซึ่งมีวิธีการเตรียมน้ำสังเคราะห์โดยการชั่งสารเคมี (เบนโทไนต์) แล้วนำสารเคมี (เบนโทไนต์) มาเติมในน้ำประปาที่เตรียมไว้คนจนสารเคมีละลายหลังจากนั้นนำน้ำสังเคราะห์มาวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น แล้วนำไปหา ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมโดยวิธีการทำจาร์เทสต์ประกอบด้วย

2.3.3.1. หาค่าความขุ่น สี พีเอช ค่าการนำไฟฟ้าและความเป็ นด่างของน้ำดิบและน้ำสังเคราะห์แล้วเติมน้ำใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 6 ใบๆละ 1 ลิตร วางในเครื่องทดสอบจาร์เทสต์

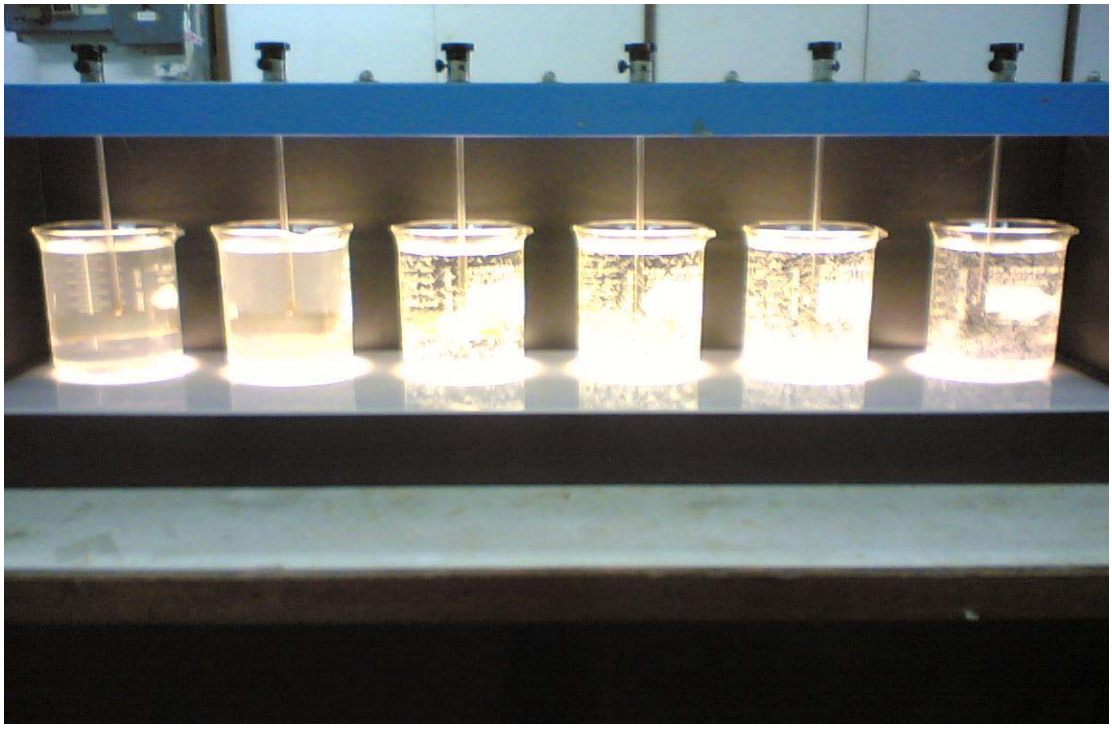
2.3.3.2.เติมสารละลายสารส้มมาตรฐานลงในบีกเกอร์ตามปริ มาณสารส้มจากน้อยไปมากดังนี้ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ลิตร

2.3.3.3. กวนอย่างเร็วด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที ลดความเร็วลงเหลือ 30 รอบต่อนาที แล้วกวนต่อเป็นเวลา 20 นาที แสดงดังภาพประกอบที่ 2-5

2.3.3.4. สังเกตดูเวลาที่เกิดฟล็อกขึ้นเป็นครั้งแรก ขนาดและปริมาณของฟล็อกของแต่ละบีกเกอร์ ที่เวลาต่างๆ เช่น 5 นาที 30 นาที และ 1 ชั่วโมง

2.3.3.5.ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เกิดการตกตะกอนของฟล็อกโดยการปิดเครื่องกวนแล้วสังเกตตะกอนที่เกิดขึ้นตลอดจนปริมาณของฟล็อกที่เหลือซึ่งไม่นอนก้นบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ

2.3.3.6. ดูดเอาน้ำใสข้างบนมาหา ค่าความขุ่น พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า และความเป็นด่างของน้ำ



ภาพประกอบที่ 2-5 วิธีการทำจาร์เทสต์

2.3.3 การศึกษารูปแบบการเดินระบบที่เหมาะสมในการกรองสัมผัส

หลังจากการทดลองจาร์เทสต์จะได้ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมสำ หรับนำไปทดลองในระบบกรองสัมผัส ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังนี้

2.3.3.1 ระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง

2.3.3.1.1 ศึกษาหาอัตรากรองที่เหมาะสม

เตรียม น้ำดิบสังเคราะห์ให้ มีความขุ่น เท่ากับ 10, 20 และ 30 NTU กำหนดความสูงของชั้นทรายกรองในการทดลองเท่ากับ 70 ซม. ทดลองด้วยอัตรากรองเท่ากับ 5, 10 และ 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เพื่อหาอัตรากรองที่เหมาะสมสำหรับนำไปทดลองกับ น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

2.3.3.2 ระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์

2.3.3.2.1 ศึกษาหาอัตราส่วนชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรองที่เหมาะสม

กำหนดอัตรากรองที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 2.3.3.1.1 จากนั้นทำการทดลองหาอัตราส่วนสารกรองที่เหมาะสม ดังนี้ 1.3, 0.7 และ 0.4

2.3.4 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองสัมผัสจากรูปแบบการเดินระบบที่เหมาะสม

2.3.4.1 ระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง

เตรียมน้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10, 20 และ 30 NTU กำหนดความสูงของชั้นทรายกรองในการทดลองเท่ากับ 70 ซม. และทดลองด้วยอัตรากรองเท่ากับ 5, 10 และ 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. จากนั้นทำการ เดินระบบ กรองสัมผัส 3 ชุดการทดลองๆละ 3 ซ้ำ และบันทึกผลทุกๆ 5, 10, 30 และ60 นาที ในชั่วโมงแรกหลังจากนั้นบันทึกผลทุกชั่วโมง จนกว่าสารกรองจะเกิดการอุดตันจึงหยุดระบบ (บันทึก ค่าความขุ่น, อุณหภูมิ, พีเอช, ค่าความเป็นด่าง, UV-254 และค่าการนำไฟฟ้า) โดยดูค่าการสูญเสียแรงดัน (ค่าระดับน้ำจากมาโนมิเตอร์) มีค่าเท่ากับ 75 ซม.หรือความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบมีค่ามากกว่า 5 NTU แล้วทำการล้างย้อนสารกรองด้วยลมและตามด้วยน้ำเมื่อได้ค่า Optimum condition ของระบบแล้วจึงทดลองกับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

2.3.4.2 ระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์

ทำการทดลองโดยใช้น้ำ ดิบสังเคราะห์ที่มีความขุ่นเท่ากับ 10, 20 และ 30 NTU กำหนด อัตรา กรอง ที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 3.4.1.1 ทดลองกับ อัตราส่วน ของ ชั้นแอนทรา ไซต์ต่อทรายกรองเท่ากับ 1.3, 0.7 และ 0.4 ทำการทดลอง 3 ชุดการทดลองๆละ 3 ซ้ำ บันทึกผลทุกๆ 5, 10, 30 และ 60 นาที ในชั่วโมงแรกหลังจากนั้นบันทึกผลทุกชั่วโมง จนกว่า สารกรอง เกิดการอุดตันจึงหยุดระบบ (บันทึก ค่าความขุ่น , อุณหภูมิ , พีเอช , ค่าความเป็นด่าง ,

ค่าการนำไฟฟ้า และค่า UV-254) โดยดูค่าการสูญเสียแรงดัน (ค่าระดับน้ำจาก มาโนมิเตอร์) มีค่าเท่ากับ 75 ซม.หรือความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบมีค่ามากกว่า 5 NTU แล้วทำการล้างย้อนสารกรองด้วยลมและตามด้วยน้ำ เมื่อ ได้ค่า Optimum condition ของระบบ แล้วจึงทดลองกับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

2.3.5 เปรียบเทียบ กระบวน การผลิต น้ำของระบบกรองสัมผัส ชนิดทรายกรอง กับระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2.3.5.1 ทำการเปรียบเทียบ Surface Loading Rate ขนาดทรายกรอง อัตราการผลิตน้ำ การล้างระบบกรองและปริมาณสารเคมีที่ใช้

2.3.5.2 ทำการเปรียบเทียบ ค่าใช้จ่ายของ ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างระบบ ค่าไฟฟ้า และระยะเวลาการเปลี่ยนสารกรอง ดังแสดงในตาราง 2-2

ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบกรองสัมผัสกับระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัย-สงขลานครินทร์

ระบบการผลิตน้ำประปา	รายการค่าใช้จ่าย
1. ระบบประปา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2. ระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง	1. ปริมาณน้ำล้างระบบ 2. ค่าไฟฟ้า 3. ระยะเวลาการเปลี่ยนสารกรอง

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและแปรผล

วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม SPSS version 11 for Windows (Statistical Package for Social Sciences) ซึ่งรายงานผลการทดลอง ดังนี้

2.4.1 รายงานผลประสิทธิภาพของระบบในรูปของ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.4.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ โดยใช้ Kruskal – Wallis One way analysis และ One – way ANOVA

2.4.2 หาความสัมพันธ์ของปัจจัย ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบกรองสัมผัส โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson’s Product Moment Correlation) และการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Stepwise Multiple Regression Analysis)

บทที่ 3
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 คุณภาพน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำดิบ จากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง ทางด้านกายภาพและเคมี ในพารามิเตอร์ ต่างๆ คือ ความขุ่น พีเอช อุณหภูมิ ค่าความเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และ UV-254 ระหว่างเดือนกันยายน 2550 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551 พบว่า ความขุ่นของน้ำ ในอ่างเก็บน้ำศรีตรังมีค่าค่อนข้างต่ำ เฉลี่ยเท่ากับ 11.0 ±2.4 NTU (อยู่ในช่วง 5.5-18.2 NTU) สอดคล้องกับการศึกษาของ นิวัตน์ มุหมีน (2551) และ ทัศนา เกื้อเส้ง และคณะ (2552) ซึ่ง ได้ศึกษาคุณภาพน้ำอ่างเก็บน้ำศรีตรัง พบว่า ความขุ่นของน้ำในอ่างเก็บน้ำศรีตรังมีค่า ค่อนข้างต่ำ เช่นกัน โดยมีค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 6-14 NTU และ 2.6-4.3 NTU ตามลำดับ พีเอชของน้ำในอ่างเก็บน้ำศรีตรัง พบว่า น้ำในอ่างเก็บน้ำมี สภาพค่อนข้างเป็นกลาง มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.4±0.1 (อยู่ในช่วง 7.2-7.67) สอดคล้องกับการศึกษาของ ปวิตร ชัยวิสิทธิ์ (2548) และ ทัศนา เกื้อเส้ง และคณะ(2552) พบว่า น้ำในอ่างเก็บน้ำศรีตรังมีค่าพีเอช อยู่ในช่วง 7.1-7.5 และ 6.7-7.2 ตามลำดับ อุณหภูมิของน้ำในอ่างเก็บน้ำศรีตรัง เฉลี่ยเท่ากับ 29.5±0.3 °C (อยู่ในช่วง 28.8-30.2 °C) สอดคล้องกับการศึกษาของ นิวัตน์ มุหมีน (2551) ได้ตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำในอ่างเก็บน้ำศรีตรัง มีค่าอยู่ในช่วง 29.2-29.8 °C ค่าความเป็นด่างของน้ำ ในอ่างเก็บน้ำศรีตรัง พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.85±1.2 mg/L as $CaCO_3$ (อยู่ในช่วง 13.5- 19.5 mg/L as $CaCO_3$)โดยค่าความเป็นด่าง ที่ตรวจวัดได้มีค่าต่ำ กว่าผลการศึกษาของ ทัศนา เกื้อเส้ง และคณะ (2552) ซึ่งตรวจวัดในช่วงเ ดือนกันยายน- ธันวาคม 2551 พบว่ามีค่าความเป็นด่างอยู่ในช่วง 30.-33.5 mg/L as $CaCO_3$ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในอ่างเก็บน้ำศรีตรัง พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 76.9±4.5 µS/cm (อยู่ในช่วง 69.3-87.0 µS/cm) ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ สอดคล้องกับการศึกษาของ นิวัตน์ มุหมีน (2551) ที่ตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในอ่างเก็บน้ำศรีตรังเช่นกัน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 70.0-77.0 µS/cm และการตรวจวัดค่า UV-254 ของน้ำในอ่างเก็บน้ำศรีตรัง พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.3 cm^{-1} (อยู่ในช่วง 0.2-0.3 cm^{-1}) สูงกว่าผลการตรวจวัดของ นิวัตน์ มุหมีน (2551) เล็กน้อย ที่พบว่ามีค่า UV-254 เฉลี่ยเท่ากับ 0.2 cm^{-1} ตารางที่ 3-1 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก)

ตารางที่ 3-1 คุณภาพน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

เดือน	ความขุ่น (NTU)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	ค่าความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	UV-254 (cm^{-1})
กันยายน	14.2±3.1	7.3±0.0	29.5±0.4	15.5±1.6	72.9±5.6	0.2±0.0
ตุลาคม	10.2±0.3	7.4±0.1	29.2±0.6	17.0 ±3.5	73.9±2.2	0.3±0.0
พฤศจิกายน	9.5±1.8	7.4±0.1	29.4±0.1	16.4±1.0	76.2±5.2	0.3±0.0
ธันวาคม	9.7±2.7	7.5±0.1	29.4±0.3	15.0±1.3	74.6±2.1	0.3±0.0
มกราคม	7.7±2.7	7.2±0.0	29.4±0.2	16.0±0.7	74.9±0.8	0.3±0.0
กุมภาพันธ์	11.5±1.4	7.2±0.0	29.4±0.3	16.1±0.4	83.7±4.6	0.2±0.0
มีนาคม	12.0±0.7	7.3±0.1	29.2±0.0	16.9±0.1	81.8±0.7	0.2±0.0
เมษายน	11.5±1.0	7.5±0.1	29.6±0.2	15.9±0.5	78.0±3.3	0.3±0.0
พฤษภาคม	11.4±0.7	7.4±0.2	30.0±0.2	15.2±0.6	80.0±4.1	0.2±0.0

* กันยายน-ธันวาคม 2550, มกราคม-พฤษภาคม 2551

3.2 การทำจาร์เทสต์

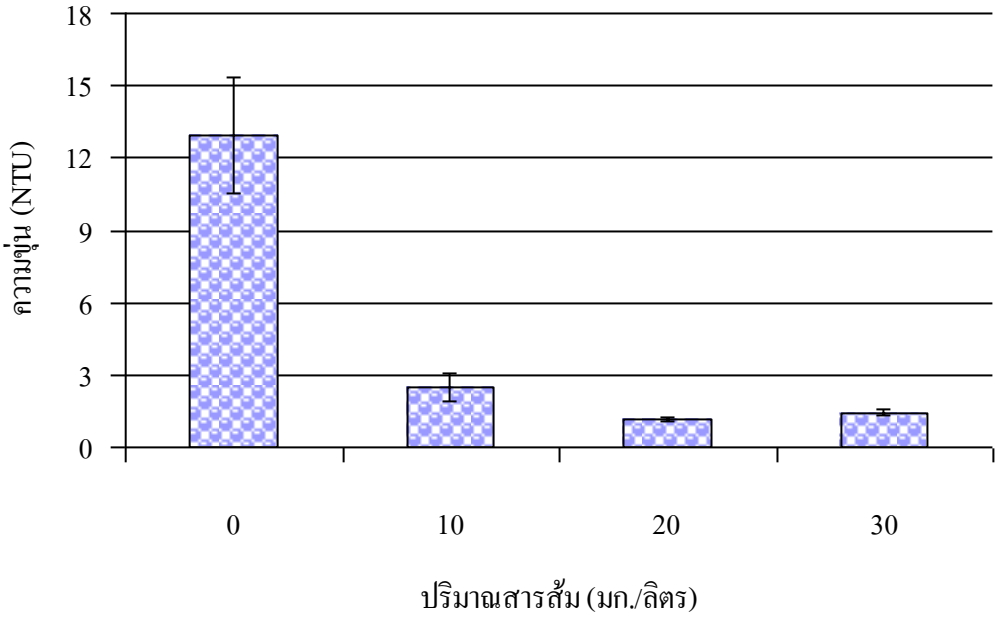
3.2.1 น้ำดิบ

การทำจาร์เทสต์มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นของน้ำ ซึ่งจากผลการทำจาร์เทสต์แบบไม่ควบคุม พีเอชที่ทำการทดลองกับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง จำนวน 4 ครั้ง โดยผลการศึกษามี ดังนี้ คือ ค่าความขุ่นเท่ากับ 14.2±3.1 NTU พีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.3±0 อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.5±0.4 °C ค่าความเป็นด่าง เฉลี่ยเท่ากับ 15.5±1.6 mg/L as $CaCO_3$ ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 72.9±5.6 µS/cm และ ค่าUV-254 เฉลี่ยเท่ากับ 0.2 cm^{-1}

จากผลการทำจาร์เทสต์น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง โดยใช้ปริมาณของสารส้มที่แตกต่างกันคือ 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ลิตร พบว่า ปริมาณสารส้ม 20 มก./ลิตร ทำให้ความขุ่นของน้ำหลัง จากตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที มีค่า ไม่เกิน 5 NTU (มาตรฐาน คุณภาพน้ำประปาของ การประปาส่วนภูมิภาค , 2552) ทุกการทดลอง โดยน้ำตัวอย่าง หลังจากทำจาร์เทสต์ พบว่า มีค่า พีเอช อุณหภูมิ ค่าความเป็นด่าง ค่า การนำไฟฟ้า และค่าUV-254 ดังแสดงในตารางที่ 3-2 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข) ซึ่งสอดคล้องกับ ผลการศึกษา ของ กองอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2549) ได้รายงานว่า ในขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จะเติมสารส้มใน น้ำดิบปริมาณ 20 มก./ลิตร และในการเก็บตัวอย่างน้ำหลังทำจาร์เทสต์มาตรวจวัดทุกครั้ง พบว่า ค่าความขุ่นของน้ำตัวอย่างหลังตกตะกอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.1 ±0.1 NTU (แสดงดังภาพประกอบที่ 3-1)

ตารางที่ 3-2 คุณภาพน้ำเฉลี่ยหลังทำจาร์เทสต์ 4 ครั้ง เมื่อทดลองกับสารส้ม 20 มก./ลิตร

พารามิเตอร์	ค่าที่ตรวจวัดได้	หน่วย
พีเอช	6.3±0.1	-
อุณหภูมิ	29.3±0.8	°C
ค่าความเป็นด่าง	11.6±2.5	mg/L as $CaCO_3$
ค่าการนำไฟฟ้า	82.2±3.9	µS/cm
UV-254	0.04±0.0	cm^{-1}



ภาพประกอบที่ 3-1 ค่าความขุ่นของน้ำหลังทำจาร์เทสต์ที่ปริมาณสารส้มต่างกัน

3.2.2 น้ำสังเคราะห์

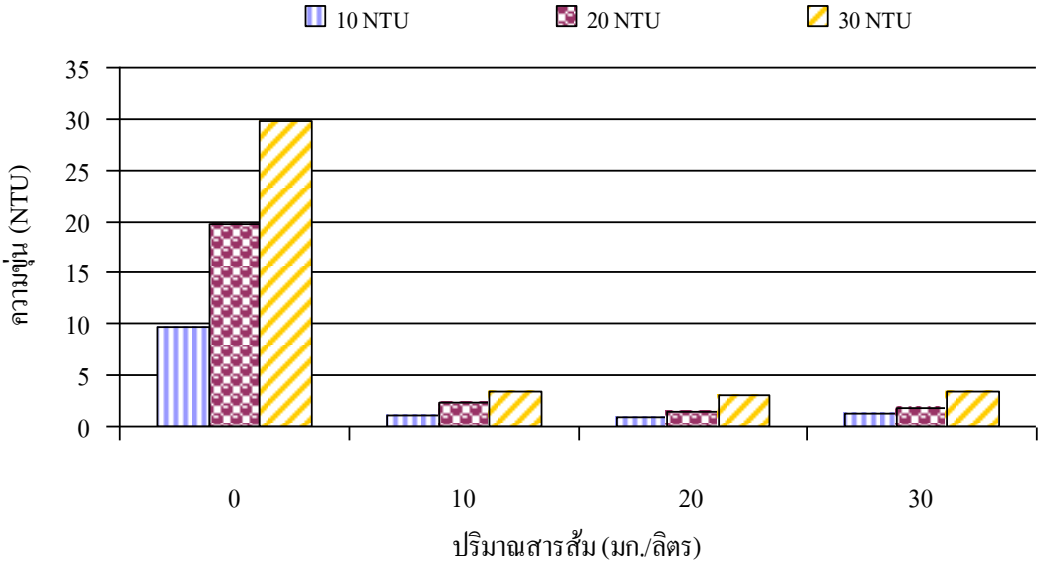
จากผลการ ตรวจวัดคุณภาพน้ำดิบในอ่างเก็บน้ำศรีตรัง พบว่า ความขุ่นของน้ำในอ่างอยู่ในช่วง 11.2-18.2 NTU และเมื่อนำน้ำดิบมาทำจาร์เทสต์ พบว่า ปริมาณสารส้มที่สามารถลดความขุ่นได้ดีที่สุด คือปริมาณ 20 มก./ลิตร สำหรับทุกการทดลอง ดังนั้นจึงสังเคราะห์น้ำดิบเพื่อทำ

การทดลองจาร์เทสต์ก่อนนำไปใช้ในการศึกษาการกรองสัมผัส ให้มีค่าความขุ่นใกล้เคียงกับน้ำดิบจริง โดยทำการสังเคราะห์น้ำจาก เบนโทไนต์ให้มีค่าความขุ่นเท่ากับ 10, 20 และ 30 NTU แล้วทดลองทำจาร์เทสต์น้ำ ดิบสังเคราะห์ ด้วยปริมาณสารส้ม ที่แตกต่างกันคือ 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ลิตร เพื่อหาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นออกจากน้ำ ดิบสังเคราะห์

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำหลังจากทำจาร์เทสต์ พบว่า พีเอช อุณหภูมิ ค่าความเป็นด่างและค่าการนำไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 3-3 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข)ซึ่งปริมาณสารส้ม ที่สามารถลดความขุ่นได้ดีที่สุดคือ 20 มก./ลิตร สำหรับทุก การทดลอง เช่นเดียวกับการทำจาร์เทสต์น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง โดยมีความขุ่นเท่ากับ 0.8 ±0.0, 1.5 ±0.1 และ 3.0 ±0.1 NTU ตามลำดับ (ภาพประกอบที่ 3-2)

ตารางที่ 3-3 คุณภาพน้ำสังเคราะห์เฉลี่ยหลังทำจาร์เทสต์ 3 ครั้งเมื่อทดลองกับสารส้ม 20 มก./ลิตร

พารามิเตอร์	ความขุ่น (NTU)		
	10	20	30
พีเอช	6.9±0.0	6.9±0.0	6.9±0.0
อุณหภูมิ (°C)	28.9±1.0	29.0±0.7	28.8±0.6
ค่าความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	10.1±0.3	11.1±0.9	10.8±1.0
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	192.4±4.0	195.6±3.6	196.7±1.3



ภาพประกอบที่ 3-2 ค่าความขุ่นน้ำสังเคราะห์หลังทำจาร์เทสต์ที่ความเข้มข้นสารส้มต่างกัน

หลังการทำจาร์เทสต์ พบว่า น้ำในอ่างเก็บน้ำศรีตรัง และน้ำสังเคราะห์มี ค่าความเป็นด่าง และค่า พีเอช ค่อนข้างต่ำ เมื่อพิจารณา ปริมาณสารส้ม ที่สามาร ถใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันแล้ว พบว่า ไม่ควรเกิน 30 มก./ลิตร ในกรณีที่ไม่ควบคุม พีเอช เนื่องจากกระบวนการโคแอกกูเลชันต้องการความเป็นด่างอย่างเ พียงพอในการทำปฏิกิริยากับสารส้ม โดยสารส้มเข้มข้น 1 มก./ลิตร จะทำปฏิกิริยากับ 0.5 มก./ลิตร ของความเป็นด่างในรูป ของ $CaCO_3$ และการเติมสารส้มในปริมาณมากทำให้ พีเอชและค่าความเป็นด่างข องน้ำลด ลงจนกระทั่ง ประสิทธิภาพในการ เกิดโคแอกกูเลชัน ต่ำลง (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ , 2542) สอดคล้องกับการศึกษาของ Benefiled, *et al* (1982) พบว่า การเพิ่มปริมาณสารส้มทำให้พีเอช และค่าความเป็นด่างลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นลดลงด้วย เนื่องจากสารส้มสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดร ไลซิส ทำให้เกิดอนุมูลไฮโดรเจนไอออนในสารสารละลาย และ พีเอช ที่ลดลง ส่งผลให้อลูมิเนียมไฮดรอกไซ ด์เกิดเป็นไอออนบวกและถูกดูดซับบนผิว อนุภาคขณะที่เติมสารส้มมากเกินไป สารแขวนลอยจะกลับมาอยู่ในสภาวะเสถียร (restabilization) เนื่องจากเกิดแรงผลักกันระหว่างสารแขวนลอยที่ดูดซับอลูมิเนียมไฮดรอกไซ ด์ที่มีประจุบวก จึงทำให้ การกำจัดความขุ่นลดลง (Black and Hannah, 1961) แต่ อย่างไรก็ตาม พีเอช ยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการสร้างตะกอนคือ 6.0-7.8 (ณรงค์ วุทธเสถียร , 2543) และมาตรฐานคุณภาพน้ำประปา ของการประปา ส่วนภูมิภาค (2552)

ซึ่งพิจารณาแล้วปริมาณสารส้มที่ความเข้มข้น 20 มก./ลิตร มีความเหมาะสมในการประเมินเบื้องต้นนี้เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการกรองสัมผัสต่อไป

3.3 ระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง (Single media sand filter)

3.3.1 น้ำสังเคราะห์

ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ด้วย ปริมาณสารส้ม ที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณสารส้มที่สามารถสร้างตะกอนในการกำจัดความขุ่นออกจากน้ำได้ดีที่สุด คือ 20 มก./ลิตร สำหรับทุกการทดลอง ในกรณีที่ไม่ควบคุม พีเอช ดังนั้นในการทดลอง กรองสัมผัสชนิด ทรายกรอง จึงใช้สารส้มปริมาณ 20 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน และ กำหนดความสูงของชั้นทรายกรอง ในการทดลอง เท่ากับ 70 ซม. ทดลองกับ น้ำสังเคราะห์ที่ มีค่าความขุ่น เท่ากับ 10, 20 และ 30 NTU ตามลำดับ และกำหนดอัตรากรองเท่ากับ 5, 10 และ 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ตามลำดับ ทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่อง จนกว่าสารกรองจะเกิดการอุดตัน ซึ่งดูจากค่าสูญเสียแรงดัน (ค่าระดับน้ำจากมาโนมิเตอร์) มีค่าเท่ากับ 75 ซม. หรือความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบมีค่ามากกว่า 5 NTU

3.3.1.1 ผลของค่าความขุ่น ในน้ำดิบ และอัตรากรอง ต่อประสิทธิภาพการกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง

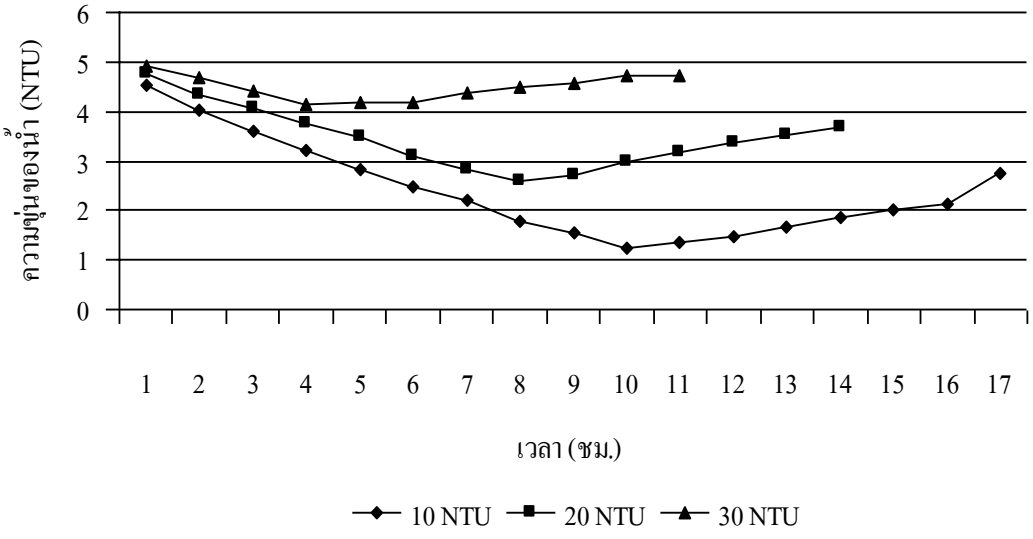
ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ ของระบบกรองสัมผัสชนิด ทรายกรอง พบว่า ความขุ่นน้ำเข้าระบบมี ผลต่อความขุ่นน้ำออกจากระบบ การสูญเสีย แรงดันในชั้นกรอง ระยะเวลาการกรอง (Tuepker *et al*, 1968 and Cleasby *et al*, 1963) และปริมาณน้ำที่ผลิตได้ โดย น้ำดิบเข้าระบบที่มีความขุ่นสูง ทำให้น้ำที่ผ่านการกรองมีความขุ่นสูงด้วย ส่งผลให้มีระยะเวลาการกรอง น้ำสั้น ผลิตน้ำได้ปริมาณน้อย และเกิดการสูญเสียแรงดันได้มาก กว่าน้ำดิบเข้าระบบ ที่มีความขุ่น ต่ำในทุกๆอัตรากรองที่ทดสอบ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ , 2542) และจากการศึกษา ความขุ่นของ น้ำที่ผ่านการกรอง พบว่า เมื่อเริ่มต้นเวลาการกรองความขุ่นในน้ำมีแนวโน้มลดลง จากนั้นมีแนวโน้มค่อย ๆเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการกรองที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจ เกิดกลไก ที่เรียกว่า detachment mechanism ในชั้นกรอง สอดคล้องกับทฤษฎีการกรองของ Ives (1969) โดยอนุภาคสารแขวนลอย เมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในชั้นกรองเพิ่มมากขึ้นทำให้ชั้นกรองเริ่มอุดตันส่งผลให้ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองมีค่ามากขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนไป และน้ำดิบเข้าระบบที่มีความขุ่น สูงจะมีอนุภาคสารแขวนลอยเข้าไปติดในชั้นกรองได้มากกว่าน้ำดิบเข้าระบบที่มีความขุ่นต่ำ และจากการสังเกต สีของชั้นทรายกรอง จะเริ่มเปลี่ยนจากสีขาวไปเป็นสีน้ำตาลตลอดทั้งชั้นจะ แปรผันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับทฤษฎีการกรองแบบติดค้างในชั้นกรอง (in-depth filtration) ของ Ives (1980) แต่ผิวหน้าชั้นกรอง เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม กว่า อย่างไรก็ตามจนถึงระยะเวลาสิ้นสุดการกรอง เมื่อมีค่าการ สูญเสียแรงดันเท่ากับ

75 ซม. ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองยังมีค่าไม่เกิน 5 NTU ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำประปา (การประปาส่วนภูมิภาค , 2552) ซึ่ง ในการ ทดลอง เปรียบเทียบ ระบบกรองน้ำที่กรอง น้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่น เท่ากับ 10, 20 และ 30 NTU ด้วยอัตราการกรอง 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่า ระบบกรองที่กรองน้ำ สังเคราะห์ ความขุ่น เท่ากับ 10 NTU สามารถลดความขุ่นได้ มากกว่าระบบกรองที่กรอง น้ำสังเคราะห์ความขุ่น เท่ากับ 20 และ 30 NTU โดยมีค่าความขุ่น เท่ากับ 2.3±0.9, 3.4±0.6 และ 4.4±0.2 NTU ตามลำดับ มีระยะเวลาการกรอง เท่ากับ 16.1±0.2, 13.7±0.6 และ 10.8±0.7 ชม. ตามลำดับ แสดงดัง ภาพประกอบ ที่ 3-3 และระบบ สามารถผลิตน้ำ กรอง ได้เท่ากับ 630.5±11.2, 536.9±26.5 และ 422.5±28.2 ลิตร ตามลำดับ

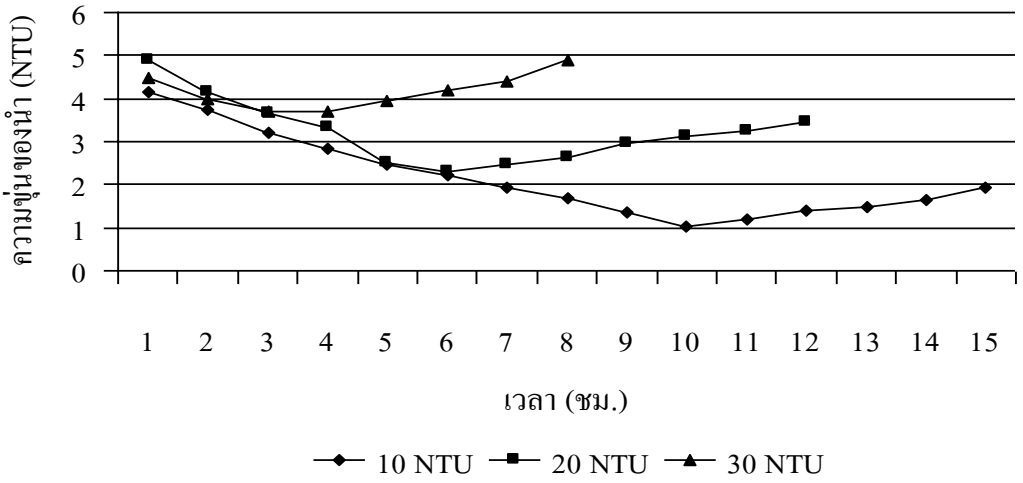
เมื่อทดลองกรองน้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่น เท่ากับ 10, 20 และ 30 NTU ด้วยอัตราการกรอง เท่ากับ 10 และ15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่า ระบบกรองที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่น เท่ากับ 10 NTU ยังสามารถลดความขุ่นได้ มากกว่า มีระยะเวลาการกรองน้ำนานกว่า และสามารถผลิตน้ำกรองได้มากกว่าระบบกรองที่กรอง น้ำสังเคราะห์ความขุ่น เท่ากับ 20 และ 30 NTU ตารางที่ 3-4 (ภาพประกอบ ที่ 3-4 และ 3-5) สอดคล้องกับการรายงานของมั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2542) กล่าวว่า เงื่อนไขสำคัญของระบบกรองโดยตรง คือ น้ำดิบต้องมีความขุ่นต่ำและมีสีน้อย เช่นเดียวกับการศึกษาของ McCormick and King (1982) ที่พบว่า คุณภาพน้ำดิบที่ยอมรับได้สำหรับการกรองโดยตรง คือ มีความขุ่นอยู่ในช่วง 0-10 NTU สอดคล้องกับการศึกษาของ Vigneswaran *et al* (1983) รายงานว่า ความขุ่นของน้ำดิบที่เข้าระบบชนิดทรายกรองควรอยู่ในช่วง 5-10 NTU

ตารางที่ 3-4 ความขุ่นของ น้ำที่ผ่านการกรอง ระยะเวลา การกรอง และปริมาณน้ำที่ผลิตได้ของน้ำสังเคราะห์

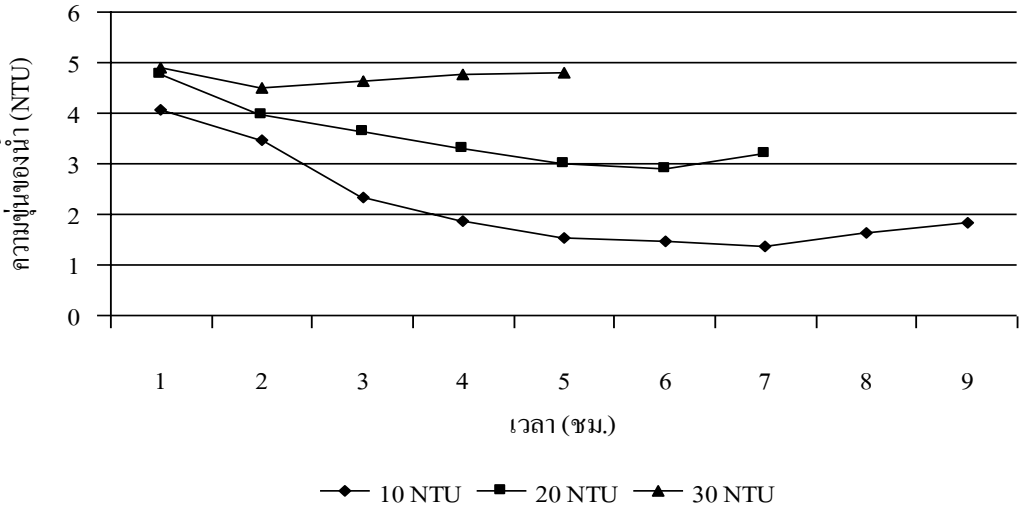
อัตรากรอง (m^3/m^2-hr)	ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	ความขุ่นน้ำออก (NTU)		ระยะเวลาการกรอง (ชม.)		ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ (ลิตร)	
		เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
	10	2.3	0.9	16.1	0.2	630.5	11.2
5	20	3.4	0.6	13.7	0.6	536.9	26.5
	30	4.4	0.2	10.8	0.7	422.5	28.2
	10	2.1	0.9	14.5	0.5	1,136.2	42.9
10	20	3.2	0.7	11.6	0.7	904.8	54.6
	30	4.1	0.4	7.5	0.6	585.0	48.7
	10	2.1	0.9	8.7	0.5	1,044.0	63.4
15	20	3.5	0.6	6.9	0.5	832.0	66.0
	30	4.7	0.1	4.8	0.6	584.00	79.9



ภาพประกอบที่ 3-3 ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่อัตรากรอง 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.



ภาพประกอบที่ 3-4 ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่อัตรากรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.



ภาพประกอบที่ 3-5 ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่อัตรากรอง 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.

เมื่อนำ ผลของ ค่าความขุ่น น้ำเข้าระบบต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองทั้ง 3 ความขุ่นในทุกๆ อัตรากรองที่ทดสอบมา วิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ระบบ กรอง ที่กรอง น้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU ระบบสามารถลดความขุ่นได้มากกว่าระบบกรองน้ำที่กรองด้วยน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 20 และ 30 NTU มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากน้ำดิบที่มีความขุ่นต่ำจะมีสารแขวนลอยต่ำ ระบบจึงสามารถลดความขุ่นได้มาก กว่าน้ำดิบ

ที่มีความขุ่นสูง ซึ่งน้ำที่ผ่านการกรอ งมีค่าความขุ่นเท่ากับ 2.2±0.2, 3.4±0.1 และ 4.4±0.3 NTU สำหรับความขุ่นเริ่มต้น 10, 20 และ 30 NTU ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ

		ความขุ่นน้ำออก (NTU)					
ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	N	Mean	S.D.	Mean Rank	Chi-Square	df	Sig
10	9	2.2[a]	0.2	5.0	23.1	2	0.000
20	9	3.4[b]	0.1	14.0			
30	9	4.4[c]	0.3	23.0			
Total	27	3.3	0.9				

หมายเหตุ [a,b,c] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ส่วน ผลการเปรียบเทียบ ค่าความขุ่น น้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการ กรองน้ำสังเคราะห์ ทั้ง 3 ความขุ่น ในทุกๆ อัตรากรองที่ทดสอบ พบว่า ระบบกรองที่กรอง น้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 และ 20 NTU มีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อทดสอบทางสถิติ โดยมีระยะเวลาการกรองน้ำใกล้เคียงกันเฉลี่ยเท่ากับ 13.1±3.4 และ 10.7±3.0 ชม. แต่ระบบกรองที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 และ 20 NTU มีระยะเวลาการกรอง น้ำนานกว่าระบบกรองที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 30 NTU มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีระยะเวลาการกรอง น้ำเท่ากับ 7.7±2.6 ชม. ดังแสดงในตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรอง

		ระยะเวลาการกรอง (ชม.)					
ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	N	Mean	S.D.	Mean Rank	Chi-Square	df	Sig
10	9	13.1[a]	3.4	19.8	10.0	2	0.007
20	9	10.7[a]	3.0	14.1			
30	9	7.7[b]	2.6	8.0			
Total	27	10.5	3.7				

หมายเหตุ [a,b] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ผลการเปรียบเทียบ ค่าความขุ่น น้ำเข้าระบบต่อ ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ พบว่า การเดินระบบด้วยน้ำดิบที่มีความขุ่นต่ำจะได้ ปริมาณน้ำกรองมากกว่าการเดินระบบด้วยน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงซึ่งสอดคล้องกันทุกๆ อัตรากรองที่ทดสอบ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อความขุ่นเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 20 และ 30 NTU จะได้ปริมาณน้ำกรองเท่ากับ 936.9±236.4, 757.9±174.5 และ 530.5±94.6 ลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

		ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ (ลิตร)					
ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	N	Mean	S.D.	Mean Rank	Chi-Square	df	Sig
10	9	936.9[a]	236.4	20.4	12.8	2	0.002
20	9	757.9[b]	174.5	14.5			
30	9	530.5[c]	94.6	7.0			
Total	27	741.7	240.9				

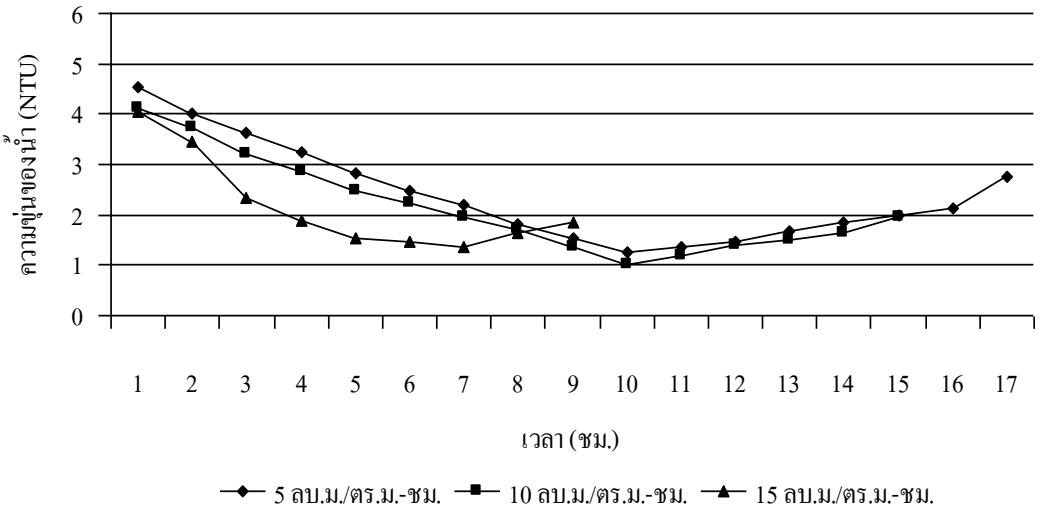
หมายเหตุ [a,b,c] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3.3.1.2 ผลของอัตรากรองน้ำต่อประสิทธิภาพการกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง

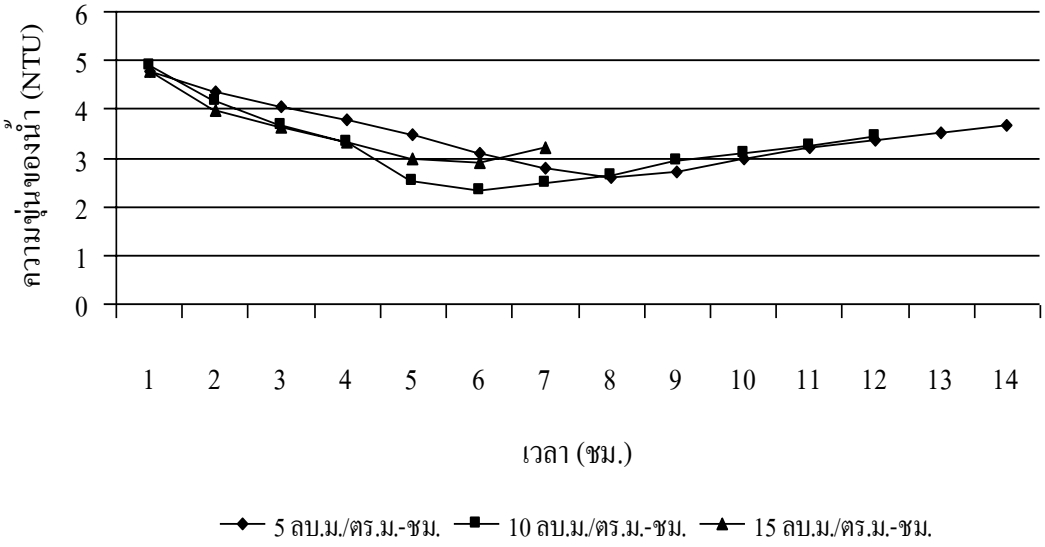
จากผลการศึกษาอัตรากรอง การกรองน้ำ เมื่อทดลองด้วยอัตรากรองเท่ากับ 5, 10 และ 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่า การกรองน้ำด้วยอัตรากรองที่ต่ำระบบสามารถลดความขุ่นในน้ำได้มากกว่าระบบที่กรองน้ำด้วยอัตรากรองสูง (Cleasby *et al*, 1963) โดยเมื่อเปรียบเทียบอนุภาค สารแขวนลอย ที่เข้าไปสะสมอยู่ในชั้นทรายกรองที่อัตรากรองต่างๆ พบว่า การเดินระบบกรองน้ำที่อัตรากรอง 5 และ10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ระบบสามารถเก็บกักอนุภาคสารแขวนลอยไว้ในชั้นกรองได้เรื่อยๆ ตลอดระยะเวลาการกรอง แต่ การเดินระบบกรองน้ำ ที่อัตรากรอง 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เมื่อระบบสะสมสารแขวนลอยไว้ได้ระดับหนึ่ง หลังจากนั้น สารแขวนลอยจะหลุดลอดออกมาจากชั้นกรองได้เร็วกว่า สอดคล้องกับ การศึกษาของ Ngo and Vigneswaran (1995) พบว่า อัตราการกรองที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้เกิดแรงเฉือนที่มีผลต่อความปั่นป่วนของน้ำและกลุ่มตะกอนจะชักนำให้กลุ่มตะกอนมีขนาดเล็กลงแล้วหลุดลอดลงไปในชั้นทราย กรอง และการเดินระบบกรองน้ำด้วยอัตรากรองสูง ทำให้มีระยะเวลาการกรองน้ำโดยเฉลี่ยสั้นกว่าการเดินระบบกรองน้ำด้วยอัตรากรองต่ำและ มีแนวโน้ม ของการ เกิด การสูญเสีย แรง ดันในชั้นทรายกรอ งเพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็ว (Madeesuksatid, 1994)

หลังจากชั่วโมงแรกของการกรองสังเกตเห็น ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองเริ่มลดลงแล้วเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา การกรอง และอัตรากรอง ที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับทฤษฎีการกรองของ Ives (1969) โดยเมื่อทดลองเดินระบบกรองด้วย น้ำดิบสังเคราะห์ ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU พบว่า ที่อัตรากรองน้ำเท่ากับ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ระบบกรองสามารถลดความขุ่นในน้ำที่ผ่านการกรองได้มาก กว่าที่อัตราการกรอง น้ำเท่ากับ 15 และ 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เล็กน้อยเท่ากับ 2.1±0.9, 2.1±0.9 และ 2.3±0.9 NTU ตามลำดับ โดยมีระยะเวลาการกรอง เท่ากับ 14.5±0.5, 8.7±0.5 และ 16.1±0.2 ชม. ตามลำดับ แสดงดังภาพประกอบที่ 3-6 และระบบกรองน้ำ สามารถผลิตน้ำ ได้เท่ากับ 1,136.2±42.9, 1,044±63.4 และ630.5±11.2 ลิตร ตามลำดับ

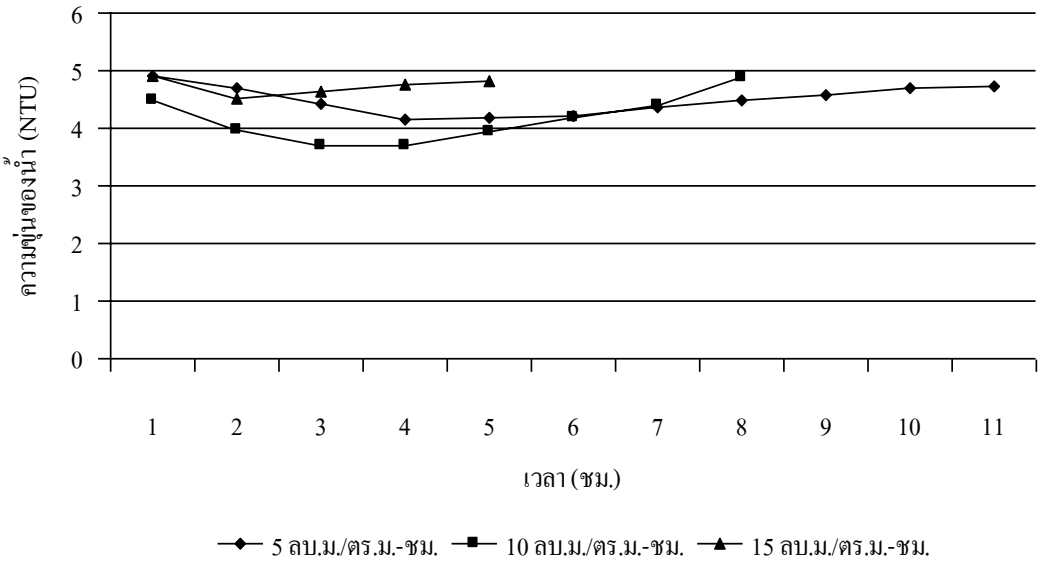
เมื่อทดลองกรองน้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 20 และ30 NTU พบว่า ที่อัตรากรอง กับ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ระบบกรองน้ำ ยังสามารถลดความขุ่นในน้ำที่ผ่านการกรองได้มากกว่า มีระยะเวลาการกรองน้ำนานกว่า และระบบสามารถผลิตน้ำกรองได้มากกว่าที่อัตรา กรองเท่ากับ 5 และ 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. (ภาพประกอบที่ 3-7 และ 3-8) (ตารางที่ 3-4) สอดคล้องกับการศึกษาของ Sweeney (1974) ได้ศึกษาการกรองโดยตรง พบว่า อัตรากรองสำหรับระบบกรองโดยตรงที่เหมาะสม คือ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. น้อยกว่าการศึกษาของ Tate *et al* (1977) พบว่า อัตรากรองที่เหมาะสมสำหรับ ระบบกรองโดยตรงควร เป็น 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เนื่องจากระบบมีความต้องการปริมาณ สารส้ม 1 ใน 5 ของปริมาณที่ต้องการในระบบผลิตน้ำประปาแบบทั่วไป ในขณะที่อัตรากรองจะสูงเป็น 3 เท่า แต่จากการศึกษาอัตราการกรองน้ำของ Ngo and Vigneswaran (1995) รายงานว่าอัตรากรองที่เหมาะสมสำหรับ ระบบกรองสัมผัส ควรใช้อัตรากรองระหว่าง 5-8 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ซึ่งน้อยกว่าผลการศึกษาของ Jung and Savage (1974) รายงานว่า ควรใช้อัตรากรองระหว่าง 5-17 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. สำหรับการกรองสัมผัสแบบแบบติดค้างในชั้นกรอง



ภาพประกอบที่ 3-6 ผลของอัตรากรองต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง (น้ำดิบสังเคราะห์ ความขุ่น 10 NTU)



ภาพประกอบที่ 3-7 ผลของอัตรากรองต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง (น้ำดิบสังเคราะห์ ความขุ่น 20 NTU)



ภาพประกอบที่ 3-8 ผลของอัตรากรองต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง (น้ำดิบสังเคราะห์ ความขุ่น 30 NTU)

เมื่อนำผลของอัตรากรองน้ำต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองทั้ง 3 อัตรากรองในทุกๆ ความขุ่นที่ทำการทดสอบมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างเนื่องจากความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองมีค่าใกล้เคียงกัน แม้ว่าที่ อัตรากรอง เท่ากับ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ระบบกรองสามารถลดความขุ่นของน้ำได้มากกว่าที่อัตรากรองเท่ากับ 5 และ 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ซึ่งมีค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองเท่ากับ 3.1±0.8, 3.4±0.9 และ 3.4±1.1 NTU ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของอัตรากรองน้ำต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ

		ความขุ่นน้ำออก (NTU)					
อัตรากรอง (m^3/m^2-hr)	N	Mean	S.D.	Mean Rank	Chi-Square	df	Sig
5	9	3.4^{ns}	0.9	14.8	1.0	2	0.601
10	9	3.1^{ns}	0.8	11.8			
15	9	3.4^{ns}	1.1	15.2			
Total	27	3.3	0.9				

หมายเหตุ ^{ns} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ทา งสถิติของอัตรากรองน้ำ ต่อระยะเวลาการกรองน้ำ พบว่า การกรองน้ำด้วยอัตรากรองเท่ากับ 5 และ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. มีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อทดสอบทางสถิติ โดยมีระยะเวลาการกรองน้ำ ใกล้เคียงกัน เท่ากับ 13.5±2.3 และ 11.2±3.1 ชม. ตามลำดับ ส่วนการกรองน้ำด้วยอัตรากรอง เท่ากับ 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. มีระยะเวลาการกรอง น้ำเฉลี่ยสั้นที่สุดเท่ากับ 6.8±1.7 ชม. และสั้นกว่าการกรองน้ำด้วยอัตรากรอง 5 และ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เนื่องจาก การกรองน้ำด้วยอัตรากรอง ที่สูงกว่า ทำให้ชั้นกรอง อุดตันได้เร็ว กว่า (Cleasby *et al*, 1963) จึงส่งผลให้มีระยะเวลาการกรองน้ำสั้นกว่า ดังแสดงในตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-9 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของอัตรากรองน้ำสังเคราะห์ต่อระยะเวลาการกรอง

		ระยะเวลาการกรอง (ชม.)					
อัตรากรอง (m^3/m^2-hr)	N	Mean	S.D.	Mean Rank	Chi-Square	df	Sig
5	9	13.5[a]	2.3	20.4	14.7	2	0.001
10	9	11.2[a]	3.1	15.2			
15	9	6.8[b]	1.7	6.2			
Total	27	10.5	3.7				

หมายเหตุ [a,b] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

และผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ อัตรากรองน้ำสังเคราะห์ ต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้ของทั้ง 3 อัตรากรอง ในทุกๆ ความขุ่น ของน้ำดิบ ที่ทดสอบ พบว่า การกรองน้ำด้วย อัตรากรองเท่ากับ 10 และ 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ระบบกรองน้ำ สามารถผลิตน้ำได้ ใกล้เคียงกันเท่ากับ 875.3±243.4, 820.0±208.4 ลิตร ตามลำดับ แต่มีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อทดสอบทางสถิติ และสูงกว่าการกรองน้ำด้วยอัตรากรองเท่ากับ 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ที่ผลิตน้ำได้น้อยที่สุดเท่ากับ 529.9±92.4 ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3-10

ตารางที่ 3-10 การวิเคราะห์ทางสถิติผลของอัตรากรองน้ำสังเคราะห์ต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

อัตรากรอง (m^3/m^2-hr)	N	ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ (ลิตร) Mean	S.D.	Mean Rank	Chi-Square	df	Sig
5	9	529.9[a]	92.4	6.9	10.8	2	0.004
10	9	875.3[b]	243.4	18.2			
15	9	820.0[b]	208.4	16.7			
Total	27	741.7	240.9				

หมายเหตุ [a,b] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3.3.1.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson's Product Moment Correlation) และถดถอยพหุคูณ (Stepwise Multiple Regression Analysis)

การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และ ถดถอยพหุคูณ เพื่อดูความแปรปรวนร่วมระหว่างสองตัวแปรและเป็นการพยากรณ์ค่าของตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งโดยอาศัยค่าของอีกตัวแปรหนึ่ง (วิเชียร เกตุสิงห์, 2545) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เป็น การหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความขุ่นน้ำเข้าระบบ กับอัตรากรอง ที่มีอิทธิพลต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ ระยะเวลาการกรองน้ำและปริมาณน้ำที่ผลิตได้

ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความขุ่นน้ำเข้าระบบ ต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ ระยะเวลาการกรองน้ำ และปริมาณน้ำที่ผลิตได้ พบว่า ความขุ่นน้ำเข้าระบบมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับระยะเวลาการกรองน้ำและปริมาณน้ำที่ผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ยกเว้น ความขุ่นของน้ำออกจากระบบ ที่เป็นความสัมพันธ์แบบแปรผันตาม นั่นคือ น้ำเข้าระบบที่มีความขุ่นสูง ทำให้ น้ำออกจากระบบมีความขุ่นสูงด้วย ส่งผลให้มีระยะเวลาการกรองน้ำสั้นและผลิตน้ำได้ปริมาณน้อย ในทางตรงข้าม หากน้ำเข้าระบบมีความขุ่นต่ำ ทำให้ น้ำที่ออกจากระบบมี ความขุ่นต่ำด้วย ส่งผลให้มีระยะเวลาการกรองน้ำนาน และระบบสามารถ ผลิตน้ำกรองได้ปริมาณมาก (ตารางที่ 3-11)

ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของอัตรากรอง ต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ ระยะเวลาการกรองน้ำและปริมาณน้ำที่ผลิตได้ พบว่า อัตรากรองไม่มีความสัมพันธ์กับความขุ่นของน้ำ ที่ออกจากระบบ แต่มีความสัมพันธ์ แบบแปรผกผัน กับระยะเวลาการกรอง และมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามปริมาณน้ำที่ผลิตได้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 นั่นคือ หากทดลองเดินระบบกรองน้ำด้วยอัตรากรองสูง จะลดระยะเวลาการกรอง น้ำให้สั้นลง แต่สามารถ

ผลิตน้ำได้ปริมาณมาก ในทางตรงข้าม หากทดลองเดินระบบ กรองน้ำด้วยอัตรากรอง ต่ำ ทำให้ระบบกรองมีระยะเวลาการกรองน้ำนานขึ้น แต่ผลิตน้ำได้ปริมาณน้อยลง ดังแสดงในตารางที่ 3-11

ตารางที่ 3-11 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง

ตัวแปร	ความขุ่นน้ำออก (NTU)		ระยะเวลาการกรอง (ชม.)		ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ (ลิตร)	
	Pearson Correlation	Sig	Pearson Correlation	Sig	Pearson Correlation	Sig
ความขุ่นน้ำเข้าระบบ (NTU)	0.953**	0.000	-0.606**	0.001	-0.702**	0.000
อัตรากรอง (m^3/m^2-hr)	0.025	0.903	-0.757**	0.000	0.501**	0.008

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราการกรองน้ำต่อค่าความขุ่นน้ำออกจากระบบ พบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อความขุ่นน้ำออกจากระบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มี 1 ตัวแปร คือ ความขุ่นน้ำเข้าระบบ โดยความขุ่นน้ำเข้าระบบ มีค่าอำนาจการทำนายความขุ่นน้ำออกจากระบบ (R^2) เท่ากับ 0.909 และค่า Adjust R^2 เท่ากับ 0.905 ซึ่งหมายความว่าความขุ่นน้ำเข้าระบบเป็นตัวพยากรณ์ที่สามารถทำนายความขุ่นของน้ำออกจากระบบได้ร้อยละ 90.9 และมีค่าสัมประสิทธิ์ของการทำนายที่ปรับแก้แล้วร้อยละ 90.5

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า ถ้า น้ำเข้าระบบมี ความขุ่นสูง ทำให้น้ำออกจากระบบมีความขุ่นสูงด้วย ในทางตรงข้าม หากน้ำเข้าระบบมีความขุ่นต่ำ ทำให้ น้ำออกจากระบบมีความขุ่นต่ำด้วย (ตารางที่ 3-12) และสามารถเขียนสมการ การถดถอยสำหรับทำนาย ความขุ่นน้ำออกจากระบบได้ดังนี้

$$(Y_1) = 1.166+0.110\ (X_1)$$

X_1 = ความขุ่นของน้ำเข้าระบบ (NTU)

Y_1 = ความขุ่นน้ำออกจากระบบ (NTU)

ตารางที่ 3-12 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อค่าความขุ่นน้ำออกจากระบบ

ตัวแปร	R	R^2	Adjust R^2	สัมประสิทธิ์ถดถอย			t	Sig.
				B	S.D.	Beta		
ความขุ่นน้ำเข้าระบบ (NTU)	0.953	0.909	0.905	0.110	0.007	0.953	15.769*	0.000
ค่าคงที่				1.166	0.150		7.773*	0.000

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราการกรองที่มีผลต่อระยะเวลาการกรองน้ำ ซึ่งอัตรากรอง เป็นตัวพยากรณ์ตัวแรกที่นำเข้าสู่สมการ มีค่าอำนาจการทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.573 และค่า Adjust R^2 เท่ากับ 0.556 กล่าวคือ อัตรากรองเป็นตัวพยากรณ์ที่สามารถทำนายระยะเวลาการกรองน้ำได้ร้อยละ 57.3 และมีค่าสัมประสิทธิ์ของการทำนายที่ปรับแก้แล้วร้อยละ 55.6 และเมื่อนำตัวพยากรณ์ตัวที่สอง เข้าสู่สมการ ถดถอยพหุคูณ แล้วมีผลให้ค่าอำนาจการทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.940 และค่า Adjust R^2 เท่ากับ 0.935 นั่นคือ อัตรากรองและความขุ่นน้ำเข้าระบบ สามารถ ทำนาย ระยะเวลาการกรองได้ร้อยละ 94.0 และมีค่าสัมประ สิทธิ์ของการทำนายที่ปรับแก้แล้วร้อยละ 93.5

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว แสดง ให้เห็นว่า ถ้าทดลองกรองน้ำด้วยอัตรากรอง ที่สูง น้ำเข้าระบบมีความขุ่นมาก จะทำให้มีระยะเวลาการกรองน้ำสั้น ในทางตรงข้าม ถ้ากรองน้ำด้วยอัตราการกรองต่ำ น้ำเข้าระบบมีความขุ่นน้อย จะทำให้มีระยะเวลาการกรองน้ำนาน (ตารางที่ 3-13) และสามารถเขียนสมการการถดถอยสำหรับทำนายระยะเวลาการกรองน้ำได้ดังนี้

$$(Y_2) = 22.715-0.271\ (X_1) - 0.676\ (X_2)$$

X_1 = ความขุ่นของน้ำเข้าระบบ (NTU)

X_2 = อัตรากรอง (m^3/m^2-hr)

Y_2 = ระยะเวลาการกรอง (ชม.)

ตารางที่ 3-13 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราการกรองน้ำต่อระยะเวลาการกรองน้ำสังเคราะห์

ตัวแปร	R	R^2	Adjust R^2	สัมประสิทธิ์ถดถอย			t	Sig.
				B	S.D.	Beta		
อัตรากรอง (m^3/m^2-hr)	0.757	0.573	0.556	-0.676	0.044	-0.757	-15.184*	0.000
ความขุ่นน้ำเข้าระบบ (NTU)	0.970	0.940	0.935	-0.271	0.022	-0.606	-12.162*	0.000
ค่าคงที่				22.715	0.655		34.685*	0.000

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราการกรองน้ำที่มีผลต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้ ซึ่งความขุ่นน้ำเข้าระบบ เป็นตัวพยากรณ์ตัวแรกที่นำเข้าสู่สมการ มีค่าอำนาจการทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.492 และค่า Adjust R^2 นั่นคือ ความขุ่นน้ำเข้าระบบเป็นตัวพยากรณ์ที่สามารถทำนายปริมาณน้ำที่ผลิตได้ร้อยละ 49.2 และมีค่าสัมประ สิทธิ์ของการทำนายที่ปรับแก้แล้วร้อยละ 47.2 และเมื่อนำตัวพยากรณ์ตัวที่สอง เข้าสู่สมการ ถดถอยพหุคูณ แล้วมีผลให้ค่าอำนาจการทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.743 และค่า Adjust R^2 เท่ากับ 0.722 กล่าวคือ ตัวแปร ความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตรากรองสามารถทำนายปริมาณน้ำที่ผลิตได้ร้อยละ 74.3 และมีค่าสัมประสิ ทธิ์ของการทำนายที่ปรับแก้แล้วร้อยละ 72.2

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว แสดงว่า ถ้า น้ำเข้าระบบมี ความขุ่นต่ำ ทดลองกรองน้ำด้วยอัตรากรองสูง ทำให้ ระบบกรองน้ำผลิตน้ำได้ปริมาณมาก ในทางตรงข้าม ถ้าน้ำเข้าระบบมีความขุ่นสูง ทดลองกรองน้ำด้วยอัตรากรองต่ำ ทำให้ระบบกรองน้ำผลิตน้ำได้ปริมาณน้อย (ตารางที่ 3-14) และสามารถเขียนสมการการถดถอยสำหรับทำนายปริมาณน้ำที่ผลิตได้ ได้ดังนี้

$$(Y_3) = 858.133-20.320\ (X_1) + 29.003\ (X_2)$$

X_1 = ความขุ่นของน้ำเข้าระบบ (NTU)

X_2 = อัตรากรอง (m^3/m^2-hr)

Y_3 = ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ (ลิตร)

ตารางที่ 3-14 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราการกรองน้ำต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

ตัวแปร	R	R^2	Adjust R^2	สัมประสิทธิ์ถดถอย			t	Sig.
				B	S.D.	Beta		
ความขุ่นน้ำเข้าระบบ (NTU)	0.702	0.492	0.472	-20.320	2.996	-0.702	-6.783*	0.000
อัตรากรอง (m^3/m^2-hr)	0.862	0.743	0.722	29.003	5.991	0.501	4.841*	0.000
ค่าคงที่				858.133	88.186		9.731*	0.000

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการทดลองระบบกรองน้ำสังเคราะห์ที่มีความขุ่นเท่ากับ 10 NTU และเพิ่มความขุ่นเป็น 20 และ 30 NTU ด้วยอัตรากรองน้ำต่างกัน แล้วทำการตรวจวัดความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรองและความสามารถในการผลิตน้ำ พบว่า ระบบกรองน้ำ สามารถ ลดความขุ่นของ น้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 5 NTU ในทุกๆ อัตรากรองที่ทดสอบ โดยในการทดลองกรองน้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU พบว่า ระบบกรองน้ำ สามารถลดความขุ่น ของน้ำได้มากที่สุด มีระยะเวลาการกรองน้ำนาน ที่สุด และสามารถผลิตน้ำ กรองได้มากที่สุด รองลงมาคือ ระบบกรองที่กรองน้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 20 และ 30 NTU

เมื่อเปรียบเทียบการเดินระบบด้วยอัตราการกรองน้ำที่ 5, 10 และ 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. แล้วตรวจวัด ความขุ่นของน้ำ ที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรอง และปริมาณน้ำที่ผลิตได้ พบว่า ความขุ่นของน้ำ ที่ผ่านการกรองทั้ง 3 อัตรากรอง มีค่าความขุ่น ใกล้เคียงกัน แต่ที่อัตรากรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ระบบกรองน้ำสามารถลดความขุ่นของน้ำได้มากที่สุด มีระยะเวลาการกรองน้ำนานที่สุดและระบบกรองสามารถ ผลิตน้ำได้ปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือ อัตรากรอง 5 และ 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.

เมื่อพิจารณา อัตรากรอง ที่ให้ผลดีที่สุดทั้งในด้านของ ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรองน้ำ และปริมาณน้ำที่ผลิตได้เหมาะสำหรับใช้ในการทดลองกับระบบกรองสัมผัสชนิด ทรายกรอง ในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง คือ อัตรากรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Madeesuksatid (1994) พบว่า อัตราการกรองที่เหมาะสมสำหรับระบบกรองสัมผัส ควรอยู่ในช่วง 7.5 – 12.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. และในการทดลอง น้ำสังเคราะห์ดังกล่าว ใช้สารส้มเพียงชนิดเดียวเป็นสารสร้างตะกอน ซึ่ง จากการศึกษา การกรองสัมผัสของ

Adin and Rebhun (1974) พบว่า การใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนเพี ยงอย่างเดียวกับการทดลองในระบบกรองสัมผัสแล้วเกิดประสิทธิผลที่ดีควรใช้อัตรากรองระหว่าง 5-10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.

3.3.2 ผลการประยุกต์ใช้กับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

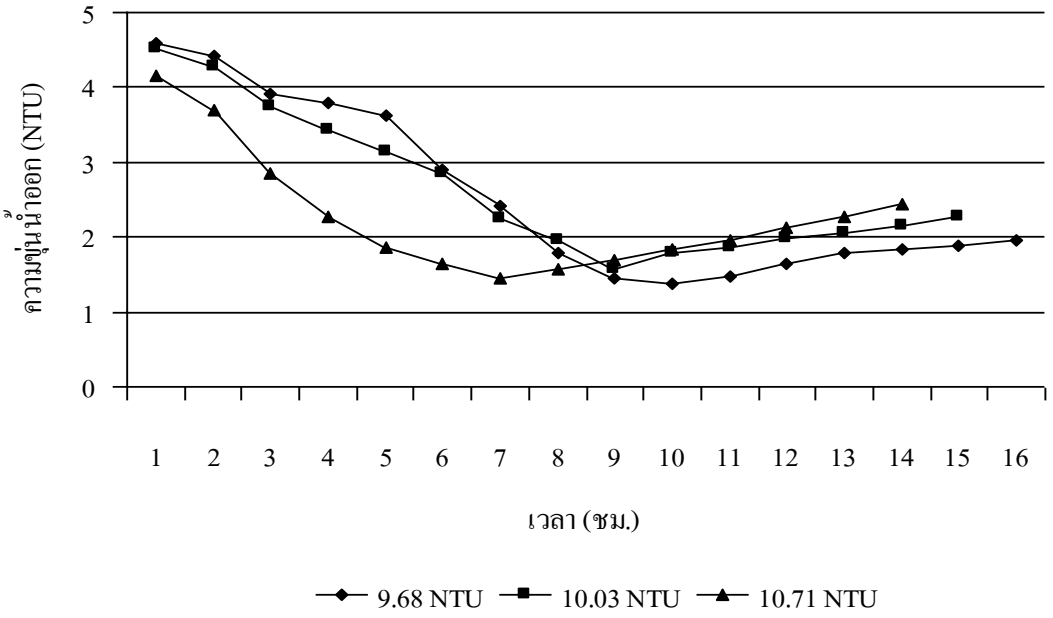
จากการตรวจวัดค่าความขุ่นในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง ในเดือนธันวาคม 2550 พบว่า มีค่าความขุ่น ค่อนข้าง ต่ำเท่ากับ 10.1±0.5 NTU และผลการศึกษาการทำจาร์เทสต์น้ำดิบด้วยปริมาณสารส้ม ที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณสารส้ม ที่สามารถสร้างตะกอนในการกำจัดความขุ่นออกจากน้ำได้ดีที่สุด คือ 20 มก./ลิตร สำหรับ ทุกการทดลอง ในกรณีที่ไม่ควบคุม พีเอช ดังนั้นในการทดลอง กรองสัมผัสชนิด ทรายกรอง จึงใช้ สารส้ม ปริมาณ 20 มก./ลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ทดลองกับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง ที่มีความขุ่นเท่ากับ 9.68, 10.03, 10.71 NTU และกำหนดอัตรา การกรองน้ำเท่ากับ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ซึ่งเป็นผลของอัตรา กรองน้ำที่ดีที่สุด จากการทดลองกับน้ำสังเคราะห์และกำหนดความสูงของชั้นทรายกรองเท่ากับ 70 ซม. แล้วทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่องจนกว่าสารกรองจะเกิดการอุดตันจึงหยุดระบบ โดยดูจากค่าการสูญเสียแรงดัน (ค่าระดับน้ำจากมาโนมิเตอร์) มีค่าเท่ากับ 75 ซม. หรือความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบมีค่ามากกว่า 5 NTU เช่นเดียวกับการทดลองน้ำสังเคราะห์

ผลการศึกษาความขุ่นน้ำดิบที่เข้าระบบต่อประสิทธิภาพการกรองสัมผัสชนิด ทรายกรอง ซึ่งจากการตรวจวัดความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง พบว่า ความขุ่นของน้ำเมื่อเริ่มต้นเวลาการกรองมีแนวโน้มลดลงแล้วค่อยๆเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการกรองที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการทดลอง ในน้ำสังเคราะห์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ตะกอนมีการแทรกลึกลงไปในชั้นกรอง (Ngo and Vigneswaran, 1995) ซึ่งเกิดจากกลไกที่เรียกว่า detachment mechanism ในชั้นกรอง ทำให้ชั้นกรองมีความฝืดเพิ่มขึ้นหรืออุดตัน ส่งผลให้ตะกอนหลุดออกจากชั้นกรองได้มากขึ้น และน้ำเข้าระบบที่มีค่าความขุ่นสูงจะทำให้เกิด detachment mechanism เร็วกว่าน้ำเข้าระบบที่มี ความขุ่นต่ำ (Ives, 1969 and Tuepker *et al*, 1968) โดยน้ำเข้าระบบที่มีความขุ่นสูงยังส่งผลให้มีระยะเวลาการกรองน้ำสั้น ผลิตน้ำกรองได้ปริมาณน้อย และเกิดการสูญเสียแรงดันได้มาก กว่าน้ำ ดิบเข้าระบบ ที่มีความขุ่น ต่ำเช่นเดียวกับการทดลอง ในน้ำสังเคราะห์ และจากการ สังเกตสีของชั้นกรอง จะเริ่มเปลี่ยนจาก สีขาวไปเป็นสีน้ำตาลตลอดทั้งชั้น กรองโดยแปรผันตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เหมือนกับการทดลอง ในน้ำสังเคราะห์แต่ชั้นกรองของน้ำอ่างเก็บน้ำศรีตรัง เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มกว่า อย่างไรก็ ตามจนถึงระยะเวลาสิ้นสุดการกรอง ค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองยังมีค่าไม่เกิน 5 NTU เช่นเดียวกับน้ำสังเคราะห์ โดยมีค่าความขุ่นเท่ากับ 2.4±0.1 NTU มีระยะเวลาการกรอง น้ำเท่ากับ 15.3±1.0 ชม. และระบบสามารถผลิตน้ำได้เฉลี่ยเท่ากับ 1,195.2±80.9 ลิตร ตารางที่ 3-15 (ภาพประกอบ ที่3-9)

เมื่อเปรียบเทียบกับ ระบบทรายกรองเร็วของ กระบวนการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัย-สงขลานครินทร์ พบว่า ระบบกรองสัมผัสมีค่าความขุ่นของน้ำออกจากระบบมากกว่าเนื่องจากกระบวนการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีถังตกตะกอน โดยในถังตกตะกอนมีการ เติมสารส้มและปูนขาวซึ่ง น้ำเข้าระบบมี ความขุ่นเท่ากับ 16.1±7.7 NTU และ เมื่อผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันแล้วน้ำมีความขุ่นลดลงเท่ากับ 3.1±0.9 NTU และเมื่อผ่านถังทรายกรอง พบว่า น้ำมีความขุ่นเท่ากับ 1.4±0.5 NTU และทำการล้างทรายกรองวันละ 2 ครั้งทุก ๆ 12 ชม. (ปวิตร ชัยวิสิทธิ์, 2548)

ตารางที่ 3-15 ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรองและปริมาณน้ำที่ผลิตได้ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

อัตรากรอง (m^3/m^2-hr)	ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	ความขุ่นน้ำออก (NTU)	ระยะเวลาการกรอง (ชม.)	ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ (ลิตร)
	9.6	2.5	16.3	1,273.0
10	10.0	2.6	15.4	1,201.2
	10.7	2.2	14.2	1,111.5



ภาพประกอบที่ 3-9 ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่อัตรากรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.

จากผลการประยุกต์ใช้ระบบกรองสัมผัส ชนิดทรายกรองกับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง ที่มีค่าความขุ่นเท่ากับ 10.1±0.5 NTU ด้วยอัตรากรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่า น้ำที่ผ่านการกรองมีความขุ่นสูงกว่าน้ำสังเคราะห์ แต่มีระยะเวลาการกรอง นานกว่าและผลิตน้ำกรองได้ปริมาณมากกว่า

3.4 ระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์ (Dual media: anthracite and sand filter)

3.4.1 น้ำสังเคราะห์

จากผลการศึกษาการกรองสัมผัส ชนิดทรายกรอง พบว่า อัตรากรอง ที่ดีที่สุดทั้งความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรอง และปริมาณน้ำที่ผลิตได้เหมาะสำหรับใช้ในการทดลองกรองสัมผัสชนิดทรายกรองในน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10, 20 และ 30 NTU และน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง คือ อัตรากรองเท่ากับ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ดังนั้นในการทดลองการกรองสัมผัสชนิด ทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์ จึงทำการทดลองด้วยอัตรากรอง เท่ากับ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. โดยกำหนดอัตราส่วน สารกรองของชั้น แอนทราไซต์ : ทรายกรองในการทดลองเท่ากับ 1.3, 0.7 และ 0.4 ทดลองกับน้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10, 20 และ 30 NTU แล้วทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่อง จนกว่าสารกรองจะเกิดการอุดตัน ซึ่งดูจากค่าสูญเสียแรงดัน (ค่าระดับน้ำจากมาโนมิเตอร์) มีค่าเท่ากับ 75 ซม. หรือความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบมีค่ามากกว่า 5 NTU เช่นเดียวกับการทดลองน้ำสังเคราะห์ชนิดทรายกรอง

3.4.1.1 ผลของค่าความขุ่นในน้ำดิบ และอัตราส่วนสารกรองต่อประสิทธิภาพการกรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์

ผลการศึกษาความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองจากระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์ พบว่า ความขุ่นน้ำเข้าระบบมีผลต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง โดยน้ำเข้าระบบที่มีความขุ่นสูง ระบบกรองน้ำจะมีประสิทธิภาพ ในการลดความขุ่นต่ำ ซึ่งอาจเกิดจากความขุ่นเข้าไปสะสมอยู่ในชั้นกรอง ได้มากกว่าน้ำเข้าระบบที่มี ความขุ่นต่ำ จึงทำให้ชั้นสารกรองอุดตันเร็วกว่า และเมื่อพิจารณาจากสีของชั้นกรองเมื่อเริ่มต้นการกรองสีของแอนทราไซต์มีสีดำใส ส่วนสีของทรายกรองมีสีขาว แต่เมื่อเวลาเปลี่ยนไปสีของแอนทราไซต์เปลี่ยน เป็นสีดำขุ่น และสีของทรายกรองเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม ตลอดทั้งชั้นกรอง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการสร้างและรวมตะกอนเกิดขึ้นตลอดทั้งชั้นกรอง (Jung and Savage, 1974) โดยน้ำเข้าระบบที่มีความขุ่นสูง ชั้นกรองจะเปลี่ยนสีได้เร็วกว่าน้ำเข้าระบบที่มีความขุ่นต่ำเช่นเดียวกับการทดลองน้ำสังเคราะห์ชนิดทรายกรอง นอกจากนี้ยังพบว่า ความขุ่นน้ำเข้าระบบมีผลต่อระยะเวลาการกรอง ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ และการสูญเสียแรงดันในชั้นกรอง โดยน้ำเข้าระบบที่มีความขุ่นสูงจะส่งผลให้มีระยะเวลาการกรองสั้น

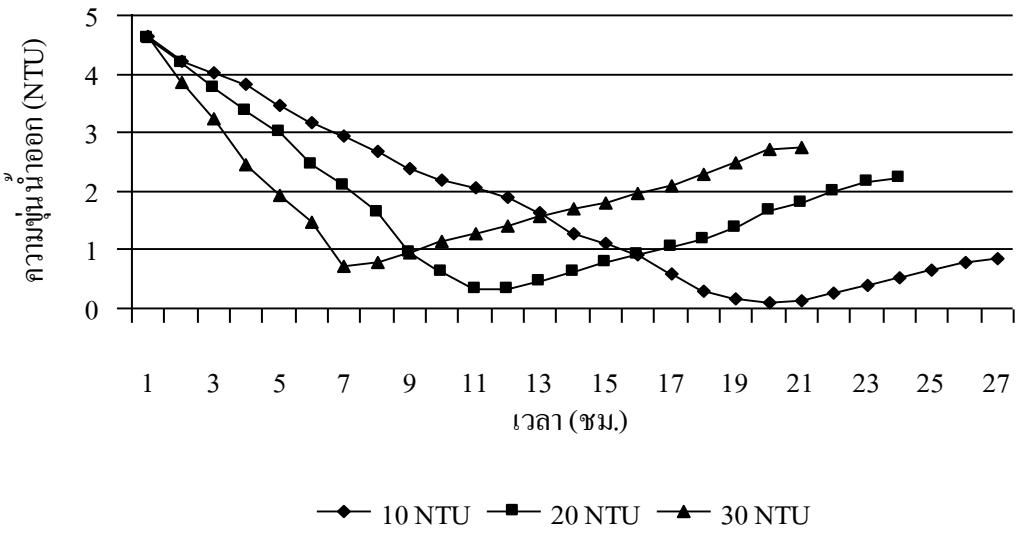
ผลิตน้ำได้ปริมาณน้อยและ เกิดการสูญเสียแรงดันได้มาก กว่าน้ำเข้าระบบ ที่มีความขุ่น ต่ำในทุกๆ อัตราส่วนสารกรองที่ทดสอบ

หลังจากชั่วโมงแรกของการกรอง สัมผัสสังเกตเห็นว่า ความขุ่น ของน้ำที่ผ่านการกรองมีแนวโน้มลดลง จากนั้นค่อยๆเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาการกรองที่เพิ่มขึ้น เป็นการเกิดกลไก ที่เรียกว่า detachment mechanism ในชั้นกรอง เช่นเดียวกับการทดลองน้ำสังเคราะห์ชนิด ทรายกรอง แต่ชั้นกรองเริ่มแยกชั้นออกเป็นสองชั้นอย่างชัดเจนซึ่งอาจมีสาเหตุจากตะกอนที่หลุดลอดมาจากชั้นแอนทราไซต์ เกิดการ รวมตัวกันอยู่บริเวณผิวหน้าของชั้นทราย กรอง ซึ่ง ตะกอนที่สะสมอยู่ ในชั้นกรองเมื่อมีปริมาณมากเกินกว่าที่จะอุดตันในช่องว่าง ระหว่างชั้นกรอง ได้ ตะกอน จึงดันให้ชั้นกรองขยายตัวและส่งผลให้ชั้นกรองแยกออกเป็นสองชั้นกรอง ซึ่งระหว่างที่มีการแยกชั้นกรองนั้นภายในชั้นกรองจะเกิดการขยายตัวออกไปเรื่อยๆ จึงเป็นสาเหตุของการเกิดแรงดันสูญเสียขึ้นในชั้นกรอง ซึ่งแรงดันสูญเสียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ความขุ่น ที่สะสมอยู่ในชั้นกรอง และระยะเวลา การกรอง ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sundarakumar (1996) พบว่า น้ำเข้าระบบที่มีความขุ่น มาก จะทำให้เกิดแรงดันสูญเสียมากเช่นกัน อย่างไรก็ตามจนถึงระยะเวลาสิ้นสุดการกรอง เมื่อมีค่าการสูญเสียแรงดันเท่ากับ 75 ซม. ค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองยังมีค่าไม่เกิน 5 NTU

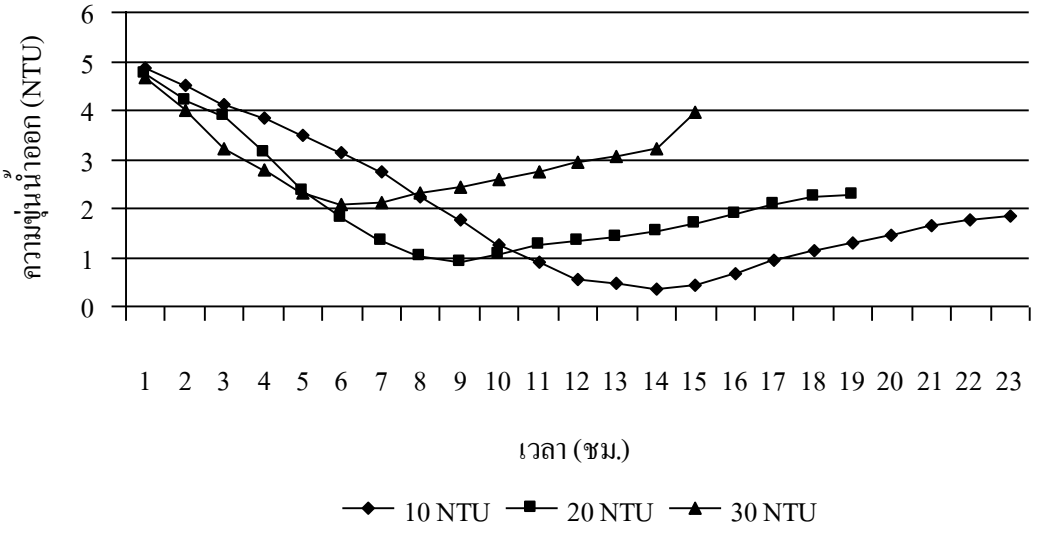
เมื่อทดลองเดินระบบกรองน้ำ ดิบสังเคราะห์ ที่มีความขุ่นเท่ากับ 10, 20 และ 30 NTU กับอัตราส่วนสารกรองของชั้นแอนทราไซต์ : ทรายกรองเท่ากับ 1.3 พบว่า ระบบที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU สามารถลดความขุ่น ในน้ำที่ผ่านการกรอง ได้มากกว่าระบบที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 20 และ 30 NTU โดยมีค่าความขุ่นเท่ากับ 1.7 ±1.4, 1.8±1.2 และ 2.0±0.9 NTU ตามลำดับ มีระยะเวลาการกรอง เท่ากับ 26.6±0.5, 23.8±0.4 และ 20.6±0.4 ชม. ตามลำดับ แสดงดัง ภาพประกอบ ที่ 3-10 และ ระบบกรองน้ำ สามารถ ผลิต น้ำ ได้เฉลี่ยเท่ากับ 2,074.8±40.5, 1,861.6±38.4 และ 1,609.4±38.4 ลิตร ตามลำดับ และเมื่อทดลองเดินระบบกรองน้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10, 20 และ 30 NTU กับอัตราส่วนสารกรองของชั้นแอนทราไซต์: ทรายกรองเท่ากับ 0.7 และ 0.4 พบว่า ระบบที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU สามารถลดความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองได้มากกว่า มีระยะเวลาการกรองน้ำนานกว่าและ ผลิตน้ำกรองได้ปริมาณมากกว่าระบบที่กรอง น้ำสังเคราะห์ความขุ่น เท่ากับ 20 และ 30 NTU ตารางที่ 3-16 (ภาพประกอบที่ 3-11 และ 3-12) สอดคล้องกับการศึกษาของปรีชา แสงพิสิทธิ์ (2531) พบว่า ระบบกรองกรองโดยตรงเหมาะสำหรับน้ำดิบที่มีความขุ่นไม่เกิน 10 NTU และจากการศึกษาของ Kawamura (1991) รายงานว่า ความขุ่นน้ำดิบสำหรับการกรองโดยตรงไม่ควรมากกว่า 15 NTU

ตารางที่ 3-16 ความขุ่นของ น้ำที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรองและปริมาณน้ำที่ผลิตได้ของน้ำสังเคราะห์

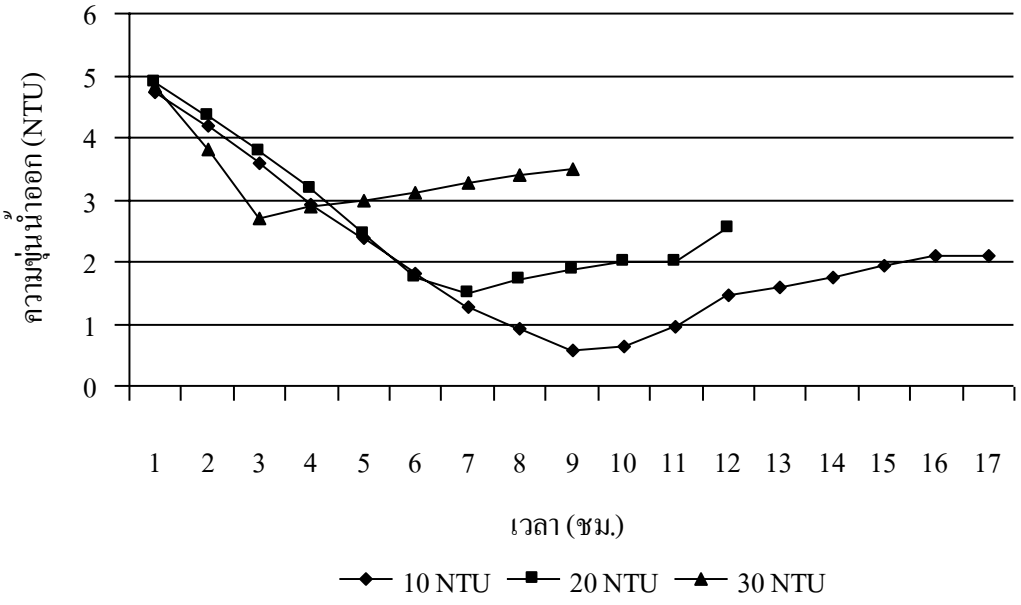
อัตราส่วนสารกรอง	ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	ความขุ่นน้ำออก (NTU)		ระยะเวลาการกรอง (ชม.)		ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ (ลิตร)	
		เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
1.3	10	1.7	1.4	26.6	0.5	2,074.8	40.5
	20	1.8	1.2	23.8	0.4	1,861.6	38.4
	30	2.0	0.9	20.6	0.4	1,609.4	38.4
0.7	10	1.9	1.3	22.9	0.4	1,791.4	32.4
	20	2.1	1.1	18.8	0.7	1,469.0	56.4
	30	2.9	0.7	14.4	0.5	1,123.2	41.2
0.4	10	2.0	1.1	16.1	0.9	1,260.5	70.6
	20	2.6	1.1	11.3	0.9	881.9	73.5
	30	3.3	0.6	8.8	0.5	692.9	39.4



ภาพประกอบที่ 3-10 ความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ที่ผ่านการกรองที่อัตราส่วนสารกรอง 1.3



ภาพประกอบที่ 3-11 ความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ที่ผ่านการกรองที่อัตราส่วนสารกรอง 0.7



ภาพประกอบที่ 3-12 ความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ที่ผ่านการกรองที่อัตราส่วนสารกรอง 0.4

เมื่อนำผล ความขุ่น น้ำเข้าระบบต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองทั้ง 3 ความขุ่นในทุกๆ อัตราส่วน สารกรองที่ทดสอบ มาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระบบกรองที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU สามารถลดความขุ่นได้ มากกว่าระบบกรองน้ำที่กรองด้วยน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 20 NTU เฉลี่ยเท่ากับ 1.9±0.1, 2.2±0.5 NTU ตามลำดับ แต่มีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อทดสอบทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบระบบกรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 และ 30 NTU พบว่า ระบบกรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU สามารถลดความขุ่นได้มากกว่าระบบกรองที่กรอง น้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 30 NTU โดยมีค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง เฉลี่ยเท่ากับ 2.8±0.6 NTU อย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3-17

ตารางที่ 3-17 การวิเคราะห์ทางสถิติผลของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อความขุ่นน้ำออกจากระบบ

		ความขุ่นน้ำออก (NTU)					
ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	N	Mean	S.D.	Mean Rank	Chi-Square	df	Sig
10	9	1.9[a]	0.1	9.3	8.1	2	0.017
20	9	2.2[a]	0.5	12.8			
30	9	2.8[b]	0.6	19.8			
Total	27	2.3	0.6				

หมายเหตุ [a,b] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ ค่าความขุ่น น้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรอง น้ำสังเคราะห์ ทั้ง 3 ความขุ่นในทุกๆ อัตราส่วน สารกรอง ที่ทดสอบ พบว่า ระบบกรองที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 และ 20 NTU มีระยะเวลาการกรองน้ำใกล้เคียงกัน เฉลี่ยเท่ากับ 21.9±4.6 และ 17.9±5.5 ชม. ตามลำดับ และระบบกรองที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 20 NTU มีระยะเวลาการกรองน้ำใกล้เคียงกับระบบกรองที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 30 NTU แต่มีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อทดสอบทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบผลของ ระบบกรองที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU กับระบบกรองที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 30 NTU พบว่า ระบบกรองที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU มีระยะเวลาการกรองยาวนานกว่า ระบบกรองที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 30 NTU ที่มีระยะเวลาการกรอง สั้นที่สุดเท่ากับ 14.6±5.1 ชม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3-18

ตารางที่ 3-18 การวิเคราะห์ทางสถิติผลของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรอง

		ระยะเวลาการกรอง (ชม.)					
ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	N	Mean	S.D.	Mean Rank	Chi-Square	df	Sig
10	9	21.9[a]	4.6	19.0	7.2	2	0.027
20	9	17.9[ac]	5.5	13.9			
30	9	14.6[bc]	5.1	9.0			
Total	27	18.1	5.7				

หมายเหตุ [a,ac,bc] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ผลการเปรียบเทียบ ค่าความขุ่น น้ำเข้าระบบต่อปริม าณน้ำที่ผลิตได้ พบว่า ระบบกรองน้ำที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU สามารถผลิตน้ำกรองได้มากกว่าระบบกรองน้ำสังเคราะห์ ความขุ่น เท่ากับ 20 NTU เฉลี่ยเท่ากับ 1,708.8±360.6 และ 1,404.1±429.9 ลิตร ตามลำดับ และระบบกรอง ที่กรองน้ำสังเคราะห์ ความขุ่นเท่ากับ 20 NTU สามารถผลิตน้ำ กรองได้มากกว่าระบบกรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 30 NTU เมื่อทดสอบทางสถิติแล้วมีค่าไม่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบ ระบบกรองน้ำที่กรองน้ำสังเคราะห์ ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU กับระบบกรองน้ำสังเคราะห์ ความขุ่นเท่ากับ 30 NTU พบว่า ระบบกรองน้ำสังเคราะห์ ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU สามารถผลิตน้ำกรองได้มากกว่าระบบกรองน้ำ สังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 30 NTU ซึ่งมีเฉลี่ยเท่ากับ 1,141.8±398.5 ลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3-19

ตารางที่ 3-19 การวิเคราะห์ทางสถิติผลของความขุ่นน้ำเคราะห์เข้าระบบต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

		ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ (ลิตร)					
ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	N	Mean	S.D.	Mean Rank	Chi-Square	df	Sig
10	9	1,708.8[a]	360.6	19.0	7.2	2	0.027
20	9	1,404.1[ac]	429.9	13.9			
30	9	1,141.8[bc]	398.5	9.0			
Total	27	1,418.3	448.9				

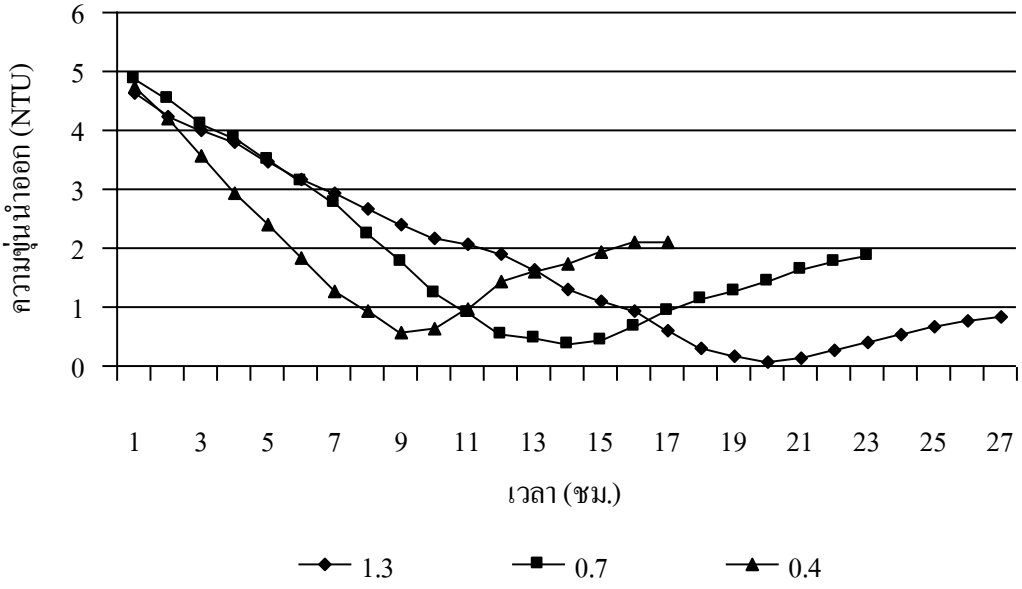
หมายเหตุ [a,ac,bc] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3.4.1.2 ผลของ อัตราส่วน สารกรอง ต่อ ประสิทธิภาพการกรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์

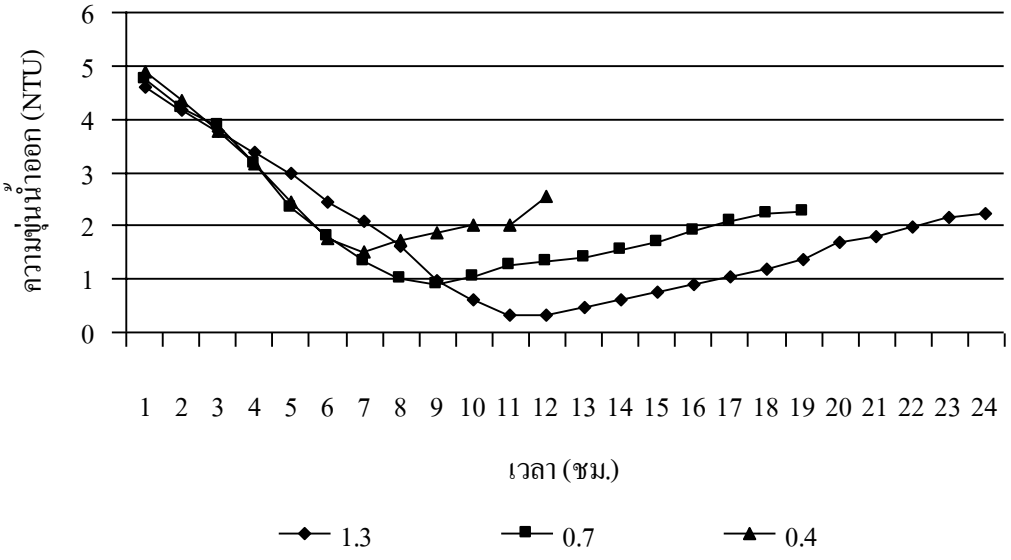
ผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราส่วนสารกรองของชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรองทั้ง 3 ค่า คือ 1.3, 0.7 และ 0.4 พบว่า อัตราส่วนสารกรองมีผลต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง สังเกตได้จากระบบที่ใช้ อัตราส่วนสารกรองของชั้นแอนทราไซต์มากกว่าชั้นทรายกรอง น้ำที่ผ่านการกรองมีค่าความขุ่นต่ำกว่าระบบที่ใช้ อัตราส่วน สารกรองของชั้นทรายกรองมากกว่าชั้นแอนทราไซต์ เพราะชั้นแอนทราไซต์นอกจากจะทำหน้าที่เป็นตัวสร้างและรวมตะกอนแล้วยังทำหน้าที่เป็นชั้นกรองที่มีประสิทธิภาพการกรองมากกว่าชั้นทรายกรอง (Sundarakumar,1996) สอดคล้องกับการศึกษาของ Tchobanoglous (1985) ที่รายงานว่า ชั้นถ่านแอนทราไซต์สามารถสร้างกลุ่มตะกอนและเก็บกักกลุ่มตะกอนที่เกิดขึ้นไว้ภายใน ชั้นกรองได้ชั้นถ่านจะต้องมีความสูงไม่น้อยกว่า 33 ซม. เช่นเดียวกับการศึกษาการกรอง ของ McCormick and King (1982) ได้ทดลองกรองน้ำแบบ 2 ชั้นกรอง (ทรายร่วมกับแอนทราไซต์) พบว่า อัตราส่วนของชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรองที่เหมาะสมคือ 2.04

ผลการเปรียบเทียบ อัตราส่วนสารกรองของชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรองเท่ากับ 1.3, 0.7 และ 0.4 ทดลองกับน้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU พบว่า ระบบที่ทดลองกับอัตราส่วนสารกรองแอนทราไซต์ต่อทรายกรอง เท่ากับ 1.3 สามารถลดความขุ่น ของน้ำได้มากกว่าระบบที่ทดลองกับอัตราส่วนสารกรองแอนทราไซต์ต่อทรายกรองเท่ากับ 0.7 และ 0.4 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.7±1.4, 1.9±1.3 และ 2.0±1.1 NTU ตามลำดับ มีระยะเวลาการกรอง น้ำโดยเฉลี่ยเท่ากับ 26.6±0.5, 22.9±0.4 และ 16.1±0.9 ชม. ตามลำดับ แสดงดังภาพประกอบ ที่ 3-13 และระบบสามารถผลิตน้ำกรองได้เฉลี่ยเท่ากับ 2,074.8±40.5,1,791.4±32.4 และ 1,260.5±70.6 ลิตร ตามลำดับ

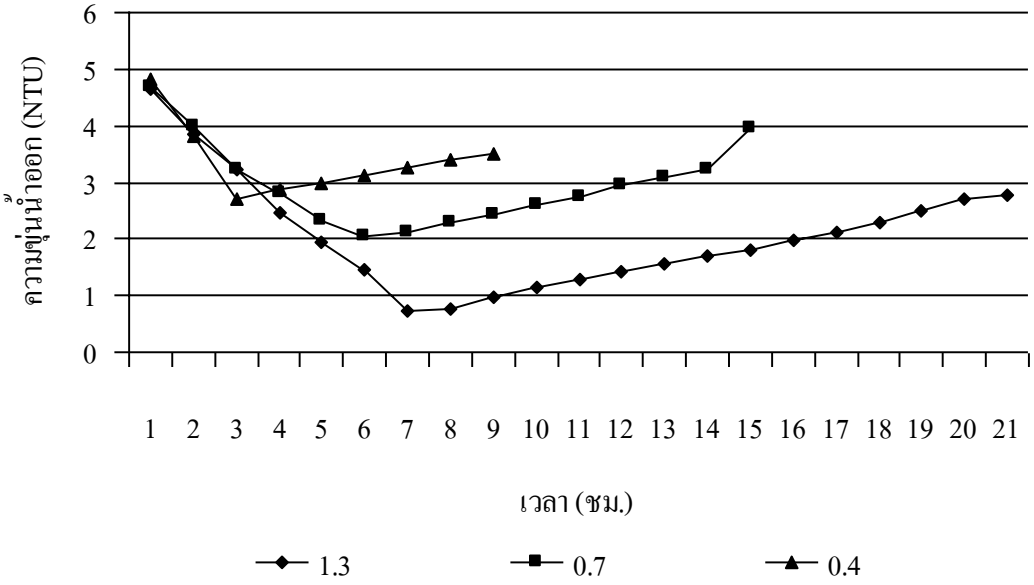
เมื่อทดลองกรองน้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 20 และ 30 NTU พบว่า ระบบกรองที่ทดลองกับอัตราส่วนสารกรองของชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรอง เท่ากับ 1.3 ยังสามารถลดความขุ่น ในน้ำที่ผ่านการกรอง ได้มากกว่า มีระยะเวลาการกรองน้ำนานกว่า และสามารถผลิตน้ำกรองได้มากกว่าระบบกรองที่ทดลองกับอัตราส่วนสารกรองแอนทราไซต์ต่อทรายกรอง เท่ากับ 0.7 และ 0.4 ดังแสดงในตารางที่ 3-16 (ภาพประกอบที่ 3-14 และ 3-15)



ภาพประกอบที่ 3-13 ผลของอัตราส่วนสารกรองต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง
(น้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่น 10 NTU)



ภาพประกอบที่ 3-14 ผลของอัตราส่วนสารกรองต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง
(น้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่น 20 NTU)



ภาพประกอบที่ 3-15 ผลของอัตราส่วนสารกรองต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง
(น้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่น 30 NTU)

เมื่อนำผลความขุ่นน้ำเข้าระบบ ต่อความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองทั้ง 3 อัตราส่วนสารกรองในทุกๆ ความขุ่นที่ทำการทดสอบ มาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ระบบกรองที่ทดลองกับอัตราส่วน ของชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรอง เท่ากับ 1.3 สามารถลดความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบ ได้มากกว่าระบบกรองที่ทดลองกับ อัตราส่วน ของชั้น แอนทราไซต์ต่อทรายกรอง เท่ากับ 0.7 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.8±0.2 และ 2.3±0.5 NTU ตามลำดับ และระบบกรองที่ทดลองกับ อัตราส่วนของชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรองเท่ากับ 0.7 สามารถลดความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบได้มากกว่าระบบกรองที่ทดลองกับ อัตราส่วนของชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรองเท่ากับ 0.4 แต่ไม่มีความแตกต่างเมื่อทดสอบทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบ ระบบกรองที่ทดลองกับ อัตราส่วน ของชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรองเท่ากับ 1.3 กับอัตราส่วนของชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรองเท่ากับ 0.4 พบว่า อัตราส่วนของชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรองเท่ากับ 1.3 ระบบกรองสามารถลดความขุ่นได้มากกว่าอัตราส่วนสารกรองของชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรองเท่ากับ 0.4 โดยมีค่าความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบเท่ากับ 2.7±0.6 NTU อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3-20

ตารางที่ 3-20 การวิเคราะห์ทางสถิติผลของอัตราส่วนสารกรองต่อความขุ่นน้ำออกจากระบบ

อัตราส่วนสารกรอง	ความขุ่นน้ำออก (NTU)						
	N	Mean	S.D.	Mean Rank	Chi-Square	df	Sig
1.3	9	1.8[a]	0.2	7.7	10.0	2	0.006
0.7	9	2.3[ac]	0.5	14.6			
0.4	9	2.7[bc]	0.6	19.6			
Total	27	2.3	0.6				

หมายเหตุ [a,ac,bc] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ อัตราส่วน สารกรอง น้ำสังเคราะห์ ต่อระยะเวลาการกรองน้ำ พบว่า ระบบกรองที่ใช้ อัตราส่วน สารกรองชั้น แอนทราไซต์มากกว่าชั้นทรายกรอง มีระยะเวลากรองน้ำนานกว่าระบบกรองที่ใช้อัตราส่วน สารกรองชั้นแอนทราไซต์น้อยกว่าชั้นทรายกรอง สอดคล้องกันทุกๆความขุ่นที่ทำการทดสอบ เมื่อทดสอบทางสถิติแล้วพบ ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เมื่ออัตราส่วน สารกรองของชั้น แอนทราไซต์ต่อทรายกรอง ลดลงจาก 1.3 เป็น 0.7 และ 0.4 มีระยะเวลาการกรองน้ำโดยเฉลี่ยเท่ากับ 23.7±2.6, 18.7±3.7 และ 12.0±3.2 ชม. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3-21

ตารางที่ 3-21 การวิเคราะห์ทางสถิติผลของอัตราส่วนสารกรองต่อระยะเวลาการกรองน้ำ

อัตราส่วนสารกรอง	ระยะเวลาการกรอง (ชม.)						
	N	Mean	S.D.	Mean Rank	Chi-Square	df	Sig
1.3	9	23.7[a]	2.6	21.9	18.1	2	0.000
0.7	9	18.7[b]	3.7	14.0			
0.4	9	12.0[c]	3.2	6.0			
Total	27	18.1	5.7				

หมายเหตุ [a,b,c] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

เมื่อนำ ผลของ อัตราส่วน สารกรอง ต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้มา วิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ระบบกรองที่ใช้ อัตราส่วน สารกรองชั้น แอนทราไซต์มากกว่าชั้นทรายกรอง ในการทดลอง สามารถผลิตน้ำกรองได้มากกว่า ระบบกรองที่ใช้ อัตราส่วน สารกรองชั้น แอนทราไซต์น้อยกว่าชั้นทรายกรองในการทดลอง สอดคล้องกันทุกๆ ความขุ่นที่ทำการทดสอบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่ออัตราส่วน สารกรองชั้น แอนทราไซต์ต่อทรายกรอง ลดลงจาก 1.3 เป็น 0.7 และ 0.4 โดยระบบสามารถ ผลิตน้ำกรองได้เฉลี่ยเท่ากับ 1,848.6±204.5, 1,461.2±291.9 และ 945.0±256.0 ลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3-22

ตารางที่ 3-22 การวิเคราะห์ทางสถิติผลของอัตราส่วนสารกรองต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

อัตราส่วนสารกรอง	ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ (ลิตร)						
	N	Mean	S.D.	Mean Rank	Chi-Square	df	Sig
1.3	9	1,848.6[a]	204.5	21.9	18.1	2	0.000
0.7	9	1,461.2[b]	291.9	14.0			
0.4	9	945.0[c]	256.1	6.0			
Total	27	1,418.2	448.9				

หมายเหตุ [a,b,c] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3.4.1.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และ ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ

การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และ ถดถอยพหุคูณ เพื่อดูความแปรปรวนร่วมระหว่างสองตัวแปรและเป็นการพยากรณ์ค่าของตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งโดยอาศัยค่าของอีกตัวแปรหนึ่ง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นน้ำเข้าระบบกับ อัตราส่วนสารกรองที่มีอิทธิพลต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ ระยะเวลาการกรองน้ำและปริมาณน้ำที่ผลิตได้

ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความขุ่นน้ำเข้าระบบ ต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ ระยะเวลาการกรองน้ำ และปริมาณน้ำที่ผลิตได้ พบว่า ความขุ่นน้ำเข้าระบบมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบ และมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับระยะเวลาการกรองน้ำและปริมาณน้ำที่ผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 นั่นคือ น้ำเข้าระบบที่มีความขุ่นสูง ทำให้น้ำออกจากระบบมีความขุ่นสูงด้วย จึงทำให้มีระยะเวลาการกรอง น้ำ

สั้นและผลิตน้ำได้ปริมาณน้อย ในทางตรงข้าม น้ำเข้าระบ บที่มีความขุ่นต่ำ ทำให้ น้ำที่ออกจากระบบมีความขุ่นต่ำด้วย ส่งผลให้มีระยะเวลาการกรองน้ำยาวนานและผลิตน้ำได้ปริมาณมาก

ผลการหาค่าสัมประสิ ทธิ์สหสัมพันธ์ของ อัตราส่วน สารกรอง ต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ ระยะเวลาการกรองและปริมาณน้ำที่ผลิตได้ พบว่า อัตราส่วน สารกรองมีความสัมพันธ์ แบบแปรผันตาม ความขุ่นน้ำออกจากระบบ และมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับระยะเวลาการกรอง และปริมาณน้ำที่ผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 กล่าวคือ ถ้าอัตราส่วน ของชั้นทราย กรองมากกว่า ชั้นแอนทราไซต์ ทำให้ น้ำที่ออกจากระบบมี ความขุ่นสูง มีระยะเวลาการกรอง น้ำสั้นและ ระบบกรองน้ำ ผลิตน้ำได้ปริมาณน้อย ในทางตรงข้าม ถ้าทดลองใช้อัตราส่วน ของชั้นทราย กรองน้อยกว่า ชั้นแอนทราไซต์ ทำให้ น้ำที่ออกจากระบบมี ความขุ่นต่ำ มีระยะเวลาการกรองน้ำนานและระบบกรองสามารถผลิตน้ำได้ปริมาณมาก (ตารางที่ 3-23)

ตารางที่ 3-23 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการกรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์

ตัวแปร	ความขุ่นน้ำออก (NTU)		ระยะเวลาการกรอง (ชม.)		ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ (ลิตร)	
	Pearson Correlation	Sig	Pearson Correlation	Sig	Pearson Correlation	Sig
ความขุ่นน้ำเข้าระบบ (NTU)	0.595**	0.001	-0.525**	0.005	-0.525**	0.005
อัตราส่วนสารกรอง	0.595**	0.001	-0.838**	0.000	-0.837**	0.000

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราส่วน สารกรองที่มีผลต่อค่าความขุ่นน้ำ ออกจากระบบ ซึ่งอัตราส่วน สารกรอง เป็นตัวพยากรณ์ตัวแรกที่นำเข้าสู่สมการ มีค่าอำนาจการทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.355 และค่า Adjust R^2 เท่ากับ 0.329 หมายความว่าอัตราส่วนสารกรองเป็นตัวพยากรณ์ที่สามารถทำนายความขุ่นน้ำออกจากระบบได้ร้อยละ 35.5 และมีค่าสัมประ สิทธิ์ของการทำนายที่ปรับแก้แล้วร้อยละ 32.9 และเมื่อนำ ตัวพยากรณ์ตัวที่สอง เข้าสู่สมการถดถอยพหุคูณแล้วมีผลให้ค่าอำนาจการทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.708 และค่า Adjust R^2 เท่ากับ 0.684 กล่าวคือ อัตราส่วน สารกรองและความขุ่นน้ำเข้าระบบ สามารถ ทำนายความขุ่นน้ำออกจากระบบได้ร้อยละ 70.8 และมีค่าสัมประสิทธิ์ของการทำนายที่ปรับแก้แล้วร้อยละ 68.4

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว แสดงว่า ระบบกรองน้ำที่น้ำเข้าระบบ มีความขุ่นสูง และใช้อัตราส่วน สารกรอง ของชั้นทรายกรองมากกว่าชั้นแอนทราไซต์ ในการทดลอง ทำให้น้ำที่ออกจากระบบ มีความขุ่น สูง ในทางตรงข้าม ถ้าระบบกรองน้ำที่น้ำเข้าระบบมีความขุ่นต่ำ และใช้อัตราส่วน สารกรอง ของชั้นทรายกรองน้อยกว่าชั้นแอนทราไซต์ในการทดลอง ทำให้น้ำที่ออกจากระบบมีความขุ่น ต่ำด้วย (ตารางที่ 3-24) และสามารถเขียนสมการ การถดถอยสำหรับ ทำนายความขุ่นน้ำออกจากระบบได้ดังนี้

$$(Y_1) = 0.566 + 0.04361\ (X_1) + 0.437\ (X_2)$$

X_1 = ความขุ่นของน้ำเข้าระบบ (NTU)

X_2 = อัตราส่วนสารกรอง

Y_1 = ความขุ่นน้ำออกจากระบบ (NTU)

ตารางที่ 3-24 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของอัตราส่วนสารกรองและความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อค่าความขุ่นของน้ำออกจากระบบ

ตัวแปร	R	R^2	Adjust R^2	สัมประสิทธิ์ถดถอย			t	Sig.
				B	S.D.	Beta		
อัตราส่วนสารกรอง	0.595	0.355	0.329	0.437	0.081	0.595	5.402*	0.000
ความขุ่นน้ำเข้าระบบ (NTU)	0.842	0.708	0.684	0.04361	0.008	0.595	5.395*	0.000
ค่าคงที่				0.566	0.238		2.378*	0.026

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราส่วนสารกรองที่มีผลต่อระยะเวลาการกรองน้ำ ซึ่งอัตราส่วนสารกรองเป็นตัวพยากรณ์ตัวแรกที่นำเข้าสู่สมการ มีค่าอำนาจการทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.702 และค่า Adjust R^2 เท่ากับ 0.690 ซึ่งหมายความว่า อัตราส่วนสารกรองเป็นตัวพยากรณ์ที่สามารถทำนายระยะเวลาการกรองน้ำได้ร้อยละ 70.2 และมีค่าสัมประสิทธิ์ของการทำนายที่ปรับแก้แล้วร้อยละ 69.0 และเมื่อนำตัวพยากรณ์ตัวที่สองเข้าสู่สมการถดถอยพหุคูณแล้วมีผลให้ค่าอำนาจการทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.977 และค่า Adjust R^2 เท่ากับ 0.975

กล่าวคือ อัตราส่วน สารกรองและความขุ่นน้ำเข้าระบบ สามารถ ทำนายระยะเวลาการกรองได้ร้อยละ 97.7 และมีค่าสัมประสิทธิ์ของการทำนายที่ปรับแก้แล้วร้อยละ 97.5

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว แสดง ให้เห็นว่า ระบบกรองน้ำที่น้ำเข้าระบบ มีความขุ่นสูงและ ใช้อัตราส่วน ของชั้นทรายกรองมากกว่าชั้นแอนทราไซต์ ในการทดลอง ส่งผล ให้มีระยะเวลาการกรองน้ำสั้น ในทาง ตรงข้าม ถ้าระบบกรองน้ำที่น้ำเข้าระบบมีความขุ่นต่ำ และใช้อัตราส่วนสารกรองของชั้นทรายกรองน้อยกว่าชั้นแอนทราไซต์ในการทดลอง ส่งผล ให้มีระยะเวลาการกรองน้ำยาวนาน (ตารางที่ 3-25) และสามารถเขียนสมการ การถดถอยสำหรับ ทำนายระยะเวลาการกรองน้ำได้ดังนี้

$$(Y_2) = 37.051 - 0.364 (X_1) - 5.803 (X_2)$$

X_1= ความขุ่นของน้ำเข้าระบบ (NTU)

X_2= อัตราส่วนสารกรอง

Y_2= ระยะเวลาการกรอง (ชม.)

ตารางที่ 3-25 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของอัตราส่วนสารกรองและความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรองน้ำ

ตัวแปร	R	R^2	Adjust R^2	สัมประสิทธิ์ถดถอย			t	Sig.
				B	S.D.	Beta		
อัตราส่วนสารกรอง	0.838	0.702	0.690	-5.803	0.214	-0.838	-27.112*	0.000
ความขุ่นน้ำเข้าระบบ (NTU)	0.988	0.977	0.975	-0.364	0.021	-0.525	-16.984*	0.000
ค่าคงที่				37.051	0.630		58.804*	0.000

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราส่วนสารกรองที่มีผลต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้ ซึ่งอัตราส่วน สารกรอง เป็นตัวพยากรณ์ตัวแรกที่นำเข้าสู่สมการ มีค่าอำนาจการทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.701 และค่า Adjust R^2 เท่ากับ 0.689 ซึ่งหมายความว่า อัตราส่วนสารกรองเป็นตัวพยากรณ์ที่สามารถทำนายปริมาณน้ำ กรอง ที่ผลิตได้ร้อยละ 70.1 และมีค่าสัมประสิทธิ์ของการทำนายที่ปรับแก้แล้วร้อยละ 68.9 และเมื่อนำตัวพยากรณ์ตัวที่สอง เข้าสู่สมการ

ถดถอยพหุคูณ มีผลให้ค่าอำนาจการทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.977 และค่า Adjust R^2 เท่ากับ 0.975 กล่าวคือ อัตราส่วน สารกรอง และความขุ่นน้ำเข้าระบบ สามารถ ทำนายปริมาณน้ำ กรอง ได้ร้อยละ 97.7 และมีค่าสัมประสิทธิ์ของการทำนายที่ปรับแก้แล้วร้อยละ 97.5

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า ระบบกรองน้ำที่น้ำเข้าระบบมีความขุ่นสูงและใช้ อัตราส่วน ของชั้นทรายกรองมากกว่าชั้นแอนทราไซต์ในการทดลอง ส่งผลให้ ระบบผลิตน้ำกรองได้ปริมาณน้อย ในทางตรงข้าม ถ้าระบบกรองน้ำที่น้ำเข้าระบบมีความขุ่นต่ำ และใช้อัตราส่วนสารกรองของชั้นทรายกรองน้อยกว่าชั้นแอนทราไซต์ในการทดลอง ส่งผลให้ ระบบผลิตน้ำกรองได้ปริมาณมาก (ตารางที่ 3-25) และสามารถเขียนสมการ การถดถอยสำหรับ ทำนายปริมาณน้ำที่ผลิตได้ดังนี้

$$(Y_3) = 2{,}888.859 - 28.353\ (X_1) - 451.752\ (X_2)$$

X_1= ความขุ่นของน้ำเข้าระบบ (NTU)
X_2= อัตราส่วนสารกรอง
Y_3= ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ (ลิตร)

ตารางที่ 3-26 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของอัตราส่วนสารกรอง ความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

ตัวแปร	R	R^2	Adjust R^2	สัมประสิทธิ์ถดถอย			t	Sig.
				B	S.D.	Beta		
อัตราส่วนสารกรอง	0.837	0.701	0.689	-451.752	16.647	-0.837	-27.138*	0.000
ความขุ่นน้ำเข้าระบบ (NTU)	0.989	0.977	0.975	-28.353	1.665	-0.525	-17.032*	0.000
ค่าคงที่				2,888.859	49.006		58.949*	0.000

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการทดลอง กรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับ แอนทราไซต์ ระบบทำการกรองน้ำ สังเคราะห์ที่ มีความขุ่นเท่ากับ 10 NTU และเพิ่มความขุ่นเป็น 20 และ 30 NTU ด้วยอัตราส่วนสารกรองต่างกัน แล้วทำการตรวจวัดความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรอง และความสามารถในการผลิตน้ำ พบว่า ระบบกรองน้ำ สามารถลดความขุ่นของน้ำ อยู่ในเกณฑ์

มาตรฐาน 5 NTU ในทุกๆ อัตราส่วนสารกรองที่ทดสอบ โดยระบบกรองที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU สามารถลดความขุ่น ของน้ำ ได้มากที่สุด มีระยะเวลาการกรองน้านาน ที่สุด และสามารถผลิตน้ำได้มาก ที่สุด รองลงมาคือ ระบบกรอง ที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 20 และ 30 NTU

เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วน สารกรองชั้นแอนทราไซต์ต่อชั้นทรายกรอง เท่ากับ 1.3, 0.7 และ 0.4 กับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรอง และปริมาณน้ำที่ผลิตได้ พบว่า ระบบกรองน้ำที่ใช้อัตราส่วนสารกรองชั้นแอนทราไซต์ต่อชั้นทรายกรองเท่ากับ 1.3 ระบบสามารถลดความขุ่น ของน้ำ ได้มากที่สุด มีระยะเวลาการกรองน้ำนาน ที่สุดรวมถึงสามารถผลิตน้ำ กรอง ได้ปริมาณมาก ที่สุด รองลงมาคือ ระบบกรองที่ใช้ อัตราส่วน สารกรอง ชั้นแอนทราไซต์ต่อชั้นทราย กรองเท่ากับ 0.7 และ 0.4

เมื่อพิจารณา อัตราส่วน สารกรอง ที่ให้ผลดีที่สุดทั้งในด้าน ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรอง น้ำ และปริมาณน้ำที่ผลิตได้เหมาะสำหรับใช้ในการทดลองกับระบบกรองสัมผัสชนิด ทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์ ในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง คือ อัตราส่วนสารกรองชั้นแอนทราไซต์ต่อ ชั้นทรายกรองเท่ากับ 1.3 และ จากการศึกษา ของ ชันยาภรณ์ ปัญจวรานนท์ (2540) พบว่า อัตราส่วน สารกรอง 0.3 และ 0.6 ไม่เพียงพอต่อระบบกรองสัมผัส เพราะความสูงไม่เพียงพอส่งผลให้กลุ่มตะกอนหลุดลอดออกมาผ่านสู่ชั้นทรายกรองทำ ให้ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองมีค่าความขุ่นสูง

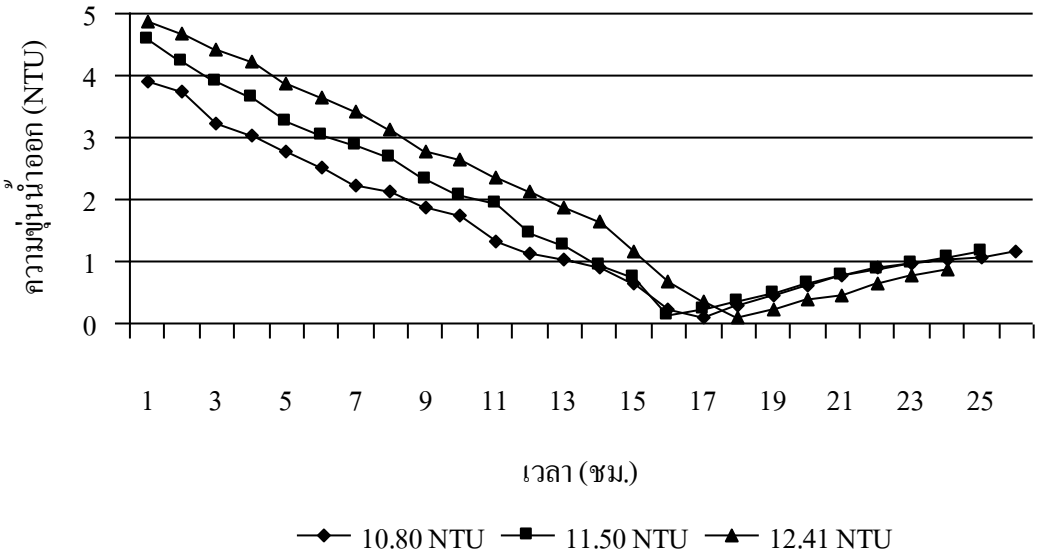
3.4.2 ผลการประยุกต์ใช้กับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

จากการ ตรวจวัดค่าความขุ่นใน น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง ในเดือนเมษายน 2551 พบว่า มีค่าความขุ่นค่อนข้างต่ำ เฉลี่ยเท่ากับ 11.5 ±0.8 NTU และผลจากการทดลอง น้ำสังเคราะห์ พบว่า อัตราส่วนของชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรองเท่ากับ 1.3 ระบบกรองสามารถลดความขุ่น ของน้ำอยู่ในเกณฑ์ มาตรฐาน 5 NTU มีระยะเวลาการกรองยาวนานและสามารถผลิตน้ำได้ ปริมาณมากกว่าที่อัตราส่วนชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรองเท่ากับ 0.7 และ 0.4 ดังนั้นในการทดลองน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง ที่มีความขุ่นเท่ากับ 10.8, 11.5 และ 12.4 NTU จึงทดลอง กับอัตราส่วน สารกรองของชั้นแอนทราไซต์ต่อทรายกรองเท่ากับ 1.3 ทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่อง จนกว่าสารกรองจะเกิดการอุดตันจึงหยุดระบบ โดยดูจากค่าสูญเสียแรงดัน (ค่าระดับน้ำจากมาโนมิเตอร์) มีค่าเท่ากับ 75 ซม.หรือความขุ่นขอ งน้ำที่ออกจากระบบมีค่ามากกว่า 5 NTU เช่นเดียวกับ การทดลองกับ น้ำสังเคราะห์ชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์

ผลของค่าความขุ่น น้ำเข้าระบบ ต่อความขุ่นของ น้ำที่ผ่านการกรอง พบว่า น้ำเข้าระบบที่มีความขุ่นสูงทำให้น้ำที่ผ่านการกรองมีค่าความขุ่นของสูงด้วยโดยเมื่อเริ่มต้นเวลาการกรอง ค่าความขุ่น ของน้ำที่ผ่านการกรอง มีแนวโน้มลดลง จากนั้นมีแนวโน้มค่อยๆเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาการกรองที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองน้ำดิบสังเคราะห์ชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์ ซึ่งเกิดจากความขุ่นเข้าไปสะสมอยู่ในชั้นกรอง เมื่อเวลาเปลี่ยนไป ความขุ่นแทรกลึกลงไปในชั้นกรอง จึงทำให้ชั้นสารกรองอุดตัน ส่งผลให้มีระยะเวลาการกรองสั้น ผลิตน้ำได้ปริมาณน้อย และ เกิดการสูญเสียแรงดันสูง ซึ่งน้ำเข้าระบบ ที่มีความขุ่น สูงจะเข้าไปสะสมอยู่ในชั้นกรอง ได้มากกว่าน้ำเข้าระบบ ที่มีความขุ่นต่ำ และจากการสังเกตเห็นสีของชั้นก รองเมื่อเริ่มการกรองสีของ แอนทรา ไซต์มีสีดำใสและสีของทรายกรองมีสีขาว แต่เมื่อเวลาเปลี่ยนไปสีของแอนทราไซต์เปลี่ยนไปเป็นสีดำขุ่น และสีของทรายกรองเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเช่นเดียวกับการทดลอง น้ำดิบสังเคราะห์ ชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์ แต่ในการทดลองน้ำดิบ จริงที่มีค่าความขุ่นใกล้เคียงกับน้ำ ดิบสังเคราะห์ พบว่า ชั้นกรองจะมีสีน้ำตาลเข้มกว่า อย่างไรก็ตามจนถึงระยะเวลาสิ้นสุดการกรอง ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองยังมีค่าไม่เกิน 5 NTU เช่นเดียวกับน้ำสังเคราะห์ โดยมีค่า ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองเฉลี่ยเท่ากับ 1.7±1.3 NTU มีระยะเวลาการกรอง เท่ากับ 25.2±1.0 ชม. และ ระบบกรองน้ำสามารถผลิตน้ำได้เฉลี่ยเท่ากับ 1,967.4±81.2 ลิตร ตารางที่ 3-27 (ภาพประกอบที่ 3-16)

ตารางที่ 3-27 ความขุ่นของน้ำ ที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรองและปริมาณน้ำที่ผลิตได้ ของน้ำจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

อัตราส่วนสารกรอง	ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	ความขุ่นน้ำออก (NTU)	ระยะเวลาการกรอง (ชม.)	ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ (ลิตร)
	10.8	1.5	26.3	2,051.4
1.3	11.5	1.8	25.1	1,961.7
	12.4	2.1	24.2	1,889.2



ภาพประกอบที่ 3-16 ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองของน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

จากผลการประยุกต์ใช้ระบบกรองสัมผัส ชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์ กับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง ทดลองกับ อัตราส่วน สารกรองของชั้น แอนทราไซต์ต่อทรายกรอง เท่ากับ 1.3 พบว่า น้ำที่ผ่านการกรองมีความขุ่น ใกล้เคียงกับน้ำสังเคราะห์ แต่มีระยะเวลาการกรองน้ำสั้นกว่าและระบบผลิตน้ำกรองได้ปริมาณน้อยกว่า

3.5 ผลการ เปรียบเทียบกระบวนการผลิตน้ำของระบบกรองสัมผัส ชนิดทรายกรอง กับระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3.5.1 ผลการเปรียบเทียบ กระบวนการผลิตน้ำ และค่าใช้จ่าย ของระบบกรองสัมผัส ชนิดทรายกรองกับระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ มีขั้นตอนการผลิตดังนี้ ในการผลิตน้ำประปา จะใส่สารเคมีช่วยในการตกตะกอ นพวกสารส้มและปูนขาวจะใส่มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความขุ่นของน้ำดิบโดยปกติจะใส่สารส้มและปูนขาวประมาณ 20 มก./ลิตร ซึ่งระบบกรองน้ำประปาในมหาวิทยาลัยมี 2 ระบบ คือ ระบบกรองแบบใช้แรงดันและระบบทรายกรองเร็ว โดยระบบทรายกรองเร็ว เป็นระบบหลักของมหาวิทยาลัยที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา ซึ่งระบบนี้สามารถผลิตน้ำประปาได้ 100 ลบ.ม./ชม.ประกอบด้วย ถังเติมสารส้ม ปูนขาว ถังตกตะกอนและถังทรายกรอง และหลังจากมีการปรับสภาพน้ำดิบด้วยสารส้มในถังน้ำดิบที่ใช้

ร่วมกับระบบกรองแบบใช้แรงดันมาครั้งหนึ่งแล้ว จะทำการใส่ปูนขาวและสารส้มเพิ่มอีกครั้งในถังตกตะกอน ซึ่งจะทำการเติมครั้งละประมาณ 10 และ 20 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ แบ่งเติม 3-4 ครั้งต่อวัน (ปวิตร ชัยวิสิทธิ์, 2548)

ระบบกรองสัมผัสเป็นระบบที่ไม่มีถังเติมสารส้ม ถังตกตะกอนและ ถังรวมตะกอน มีเพียงถังทรายกรองเพราะกระบวนการฟล็อกกูเลชันของการกรองสัมผัสเกิดขึ้นในชั้นกรอง จึงเป็นการรวมกระบวนการฟล็อกกูเลชันและ กระบวน การกรองไว้ในระบบเดียว (Adin and Rebhun, 1974) โดยปริมาณสารส้มที่ ใช้ในการกำจัดความขุ่นออกจากน้ำ เท่ากับ 20 มก./ลิตร กำหนดอัตรา การกรองน้ำเท่ากับ 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. และกำหนดความสูงของชั้นทรายกรองเท่ากับ 70 ซม. ซึ่งผลการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 3-28

ตารางที่ 3-28 เปรียบเทียบกระบวนการผลิตน้ำของระบบกรองสัมผัส ชนิดทรายกรอง กับระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ระบบทรายกรองเร็ว (ใช้จริง)		ระบบกรองสัมผัส (ระดับห้องปฏิบัติการ)	
รายการ	รายละเอียด	รายการ	รายละเอียด
1. Surface Loading Rate	8.3 ลบ.ม./ตร.ม-ชม.	1. Surface Loading Rate	10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.
2. ขนาดทรายกรอง	0.55-0.80 มม.	2. ขนาดทรายกรอง	0.5 มม.
		ขนาดแอนทราไซต์	1.0 มม.
3. อัตราการผลิตน้ำ	2,400 ลบ.ม./วัน	3. อัตราการผลิตน้ำ	1.8 ลบ.ม./วัน
4. การล้างระบบกรอง	ล้างวันละ2 ครั้ง	4. การล้างระบบกรอง	ล้างวันละครั้ง
5. ปริมาณสารส้มที่ใช้	20 มก/ลิตร	5. ปริมาณสารส้มที่ใช้	20 มก/ลิตร
6. ปูนขาว	10 กก./วัน	6. ปูนขาว*	ไม่ใช้
7. ถังหลายใบ	ถังเติมสารส้ม ปูนขาว ถังตกตะกอนและ ถังทรายกรอง	7. ถังใบเดียว	ถังทรายกรอง

* เนื่องจากกระบวนการโคแอกกูเลชันต้องการความเป็นด่างอย่างเพียงพอในการทำปฏิกิริยากับสารส้ม โดยสารส้มเข้มข้น 1 มก./ลิตร จะทำปฏิกิริยากับ 0.5 มก./ลิตร ของความเป็นด่างในรูปของ $CaCO_3$ ซึ่งน้ำในอ่างเก็บน้ำศรีตรังมีค่าความเป็นด่างค่อนข้างต่ำประมาณ 15.85±1.2 mg/L as $CaCO_3$ เมื่อพิจารณาปริมาณสารส้มที่สามารถใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันของระบบกรองสัมผัสแล้ว พบว่า ไม่ควรเกิน 30 มก./ลิตร

ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบกรองสัมผัส ชนิดทรายกรอง กับระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พบว่า ระบบทรายกรองเร็ว มีค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำล้าง เท่ากับ 0.33 บาท/ลบ.ม. ค่าปริมาณสารสร้างตะกอนเท่ากับ 0.6 บาท/ลบ.ม. ค่าสารกรองเท่ากับ 0.018 บาท/ลบ.ม. ส่วน ระบบกรองสัมผัส มีค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำล้าง เท่ากับ 0.40 บาท/ลบ.ม. ค่าปริมาณสารสร้างตะกอนเท่ากับ 0.60 บาท/ลบ.ม. และค่าสารกรองเท่ากับ 0.04 บาท/ลบ.ม.

ตารางที่ 3-29 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตน้ำของระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง กับระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ระบบทรายกรองเร็ว (ใช้จริง)			ระบบกรองสัมผัส (ระดับห้องปฏิบัติการ)		
รายการ	ค่าใช้จ่าย (บาท/ลบ.ม.)	หมายเหตุ	รายการ	ค่าใช้จ่าย (บาท/ลบ.ม.)	หมายเหตุ
1. ปริมาณน้ำล้าง	0.330	ล้างวันละ 2 ครั้ง	1. ปริมาณน้ำล้าง	0.40	ล้างวันละครั้ง
2. สารสร้างตะกอน	0.60	-	2. สารสร้างตะกอน	0.60	-
3. สารกรอง	0.018	เปลี่ยนทุก 5 ปี	3. สารกรอง	0.04	เปลี่ยนทุก 3 เดือน
รวม	0.94*	-	รวม	1.04*	-

* ไม่รวมค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าจ้างบุคลากรและค่าก่อสร้าง เป็นต้น

บทที่ 4
สรุปผลการทดลอง

4.1 คุณภาพน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำดิบทางด้านกายภาพและเคมี ในระหว่างเดือนกันยายน 2550 ถึงเดือน พฤษภาคม 2551 พบว่า น้ำในอ่างเก็บน้ำศรีตรังมี ความขุ่นเฉลี่ย เท่ากับ 11.0 ±2.4 NTU พีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.4±0.1 อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.5±0.3 °C ความเป็นด่างของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 15.8±1.2 mg/L as $CaCO_3$ ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 76.9±4.5 µS/cm และค่า UV-254 เฉลี่ยเท่ากับ 0.3 cm^{-1}

4.2 ผลการทำจาร์เทสต์

จากการศึกษาคุณภาพน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรังและน้ำดิบสังเคราะห์ พบว่า น้ำมีความเป็นด่างค่อนข้างต่ำเ ฉลี่ยเท่ากับ 15.5±1.68 และ15.06±1.97 mg/L as $CaCO_3$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณสารส้มที่สามารถใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันไม่ควรเกิน 30 มก./ลิตร ในกรณีที่ไม่ควบคุม พีเอช เนื่องจากกระ บวนการโคแอกกูเลชันต้องการความเป็นด่างอย่างเพียงพอในการทำปฏิกิริยากับสารส้มโดยสารส้มเข้มข้น 1 มก./ลิตร จะทำปฏิกิริยากับ 0.50 มก./ลิตร ของความเป็นด่างในรูป $CaCO_3$ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

ผลการทำจาร์เทสต์น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรังและน้ำดิบสังเคราะห์ด้วยปริมาณสารส้มแตกต่างกันที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ลิตร พบว่า ปริมาณสารส้มที่สามารถลดความขุ่นในน้ำได้ดีที่สุดคือ 20 มก/ลิตร สำหรับทุกการทดลอง

4.3 ระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง

จากการศึกษาอั ตรากรองที่เหมาะสม สำหรับระบบ กรองสัมผัส เมื่อทดลอง กับน้ำดิบสังเคราะห์ที่มีความขุ่นเท่ากับ 10, 20 และ 30 NTU ตามลำดับ ด้วยอัตรากรองเท่ากับ 5, 10 และ 15 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ตามลำดับ พบว่า ระบบกรองที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU ที่อัตรากรองเท่ากับ 10 ลบ.ม./ตร.ม./ชม. ระบบกรอง สามารถลดความขุ่นของน้ำได้ดี ที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 2.1±0.9 NTU มีระยะเวลาการกรองน้ำนานที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 14.5±0.5 ชม. และสามารถผลิตน้ำกรองได้มากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 1,136.2±42.9 ลิตรต่อรอบการกรอง และเมื่อประยุกต์ทดลองกับ

น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง ที่มีความขุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 10.1±0.5 NTU พบว่า ระบบกรองสามารถลดความขุ่นของน้ำได้เฉลี่ยเท่ากับ 2.4±0.1 NTU มีระยะเวลาการกรองเฉลี่ยเท่ากับ 15.3±1.0 ชม. และสามารถผลิตน้ำกรองได้เฉลี่ยเท่ากับ 1,195.2±80.9 ลิตรต่อรอบการกรอง

4.4 ระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์

จากผลการศึกษาหา อัตราส่วน สารกรอง ของชั้นแอนทราไซต์กับทรายกรอง ที่เหมาะสมของระบบกรองสัมผัส เมื่อ ทดลองกับน้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10,20และ30NTU และกำหนดอัตราส่วนสารกรองของชั้นแอนทราไซต์ : ทรายกรองเท่ากับ 1.3, 0.7, 0.4 พบว่า ระบบกรองที่กรองน้ำสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10 NTU ทดลองกับ อัตราส่วน ของชั้นแอนทราไซต์ : ทรายกรองเท่ากับ 1.3 ระบบกรองสามารถลดความขุ่นของน้ำได้ดีที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 1.7±1.4 NTU มีระยะเวลาการกรองน้ำนานที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 26.6±0.5 ชม. และสามารถผลิตน้ำกรองได้มากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 2,074.8 ±40.5 ลิตรต่อรอบการกรอง และเมื่อประยุกต์ทดลองกับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง ที่มีความขุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 11.5±0.8 NTU พบว่า ระบบกรองสามารถลดความขุ่นของน้ำได้เฉลี่ยเท่ากับ 1.7±1.3 NTU มีระยะเวลาการกรองเฉลี่ยเท่ากับ 25.2±1.0ชม. และสามารถผลิตน้ำกรองได้เฉลี่ยเท่ากับ 1,967.4±81.2 ลิตรต่อรอบการกรอง

4.5 ผลการเปรียบเทียบระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรองและ ชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์

จากผลการทดลองระบบ กรองสัมผัสชนิดทรายกรอง และระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์ เมื่อทดลองกับน้ำดิบสังเคราะห์ความขุ่นเท่ากับ 10,20และ30NTU พบว่า ระบบ กรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์ ในทุกๆ อัตราส่วนสารกรองที่ทดสอบระบบสามารถลดความขุ่นของน้ำได้ดีกว่าเท่ากับ 2.31±0.6 NTU มีระยะเวลาการกรองน้ำนานกว่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.17±5.7ชม. และ สามารถผลิตน้ำกรองได้มากกว่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,418.3±448.9 ลิตร ส่วนระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง ในทุกๆอัตรากรองที่ทดสอบ พบว่าระบบสามารถลดความขุ่นได้เท่ากับ 3.3±0.9 NTU มีระยะเวลาการกรองน้ำเท่ากับ 10.5±3.7 ชม. และสามารถผลิตน้ำกรองได้มากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 741.7±240.9 ลิตร

4.6 ผลการเปรียบเทียบระบบกรองสัมผัสกับระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

จากผลการ เปรียบเทียบ กระบวนการผลิตน้ำ และค่าใช้จ่าย ของระบบกรองสัมผัสกับระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พบว่า ระบบทรายกรองเร็วของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มี Surface Loading Rate เท่ากับ 8.3 ลบ.ม./ตร.ม-ชม. ใช้สารส้ม 20 มก/ลิตร และล้างระบบวันละ 2 ครั้ง ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้มากกว่า ระบบกรองสัมผัส ชนิดทรายกรองที่มีค่า Surface Loading Rate เท่ากับ 10 ลบ.ม./ตร.ม-ชม. ใช้สารส้ม 20 มก/ลิตร และล้างระบบวันละ 1 ครั้ง ซึ่งจะ ส่งผลให้ผลิตน้ำได้มากกว่า ระบบทรายกรองเร็ว เพราะขณะล้างย้อนต้องหยุดการกรองน้ำ และยังประกอบด้วย องค์ประกอบของ ระบบที่น้อย กว่าคือมีถังทรายกรอง เพียงอย่างเดียวจึง ต้องการพื้นที่ก่อสร้างหรือติดตั้งน้อยกว่า เมื่อเทียบกับ ระบบ กรองเร็วทั่วไป ที่ประกอบด้วย ถังเติมสารส้ม ถังตกตะกอน ถังรวมตะกอน และถังทรายกรอง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายอีกทางหนึ่ง อย่างไรก็ตามระบบกรองสัมผัสอาจต้องมีการเติมหรือเปลี่ยนสารกรองที่บ่อยกว่าระบบกรองเร็วทั่วไป

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการทดลองแต่ละครั้งน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรังมีความขุ่นไม่เท่ากัน ดังนั้นก่อนการทดลองควรทำจาร์เทสต์ทุกครั้ง เพื่อจะได้ทราบปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

2. ในการทำจาร์เทสต์ควรควบคุมพีเอชของน้ำ เพราะกระบวนการโคแอกกูเลชันต้องการความเป็นด่างอย่างเพียงพอในการทำปฏิกิริยากับสารส้ม

3. ควรศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในระบบกรองสัมผัส

4. ศึกษาการใช้สาร สร้างตะกอนตัวอื่น เช่น เฟอร์ริคคล อไรด์ หรือ โพลีอลูเนียม-คลอไรด์ร่วมด้วย เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดความขุ่น

5. ศึกษาการเปลี่ยน อัตราส่วน สารกรองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดความขุ่น

บรรณานุกรม

กองอาคารสถานที่. 2549. **รายงานการตรวจวัดคุณภาพน้ำประปา.** มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ . 2535. **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย .** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2536. **วิศวกรรมประปา.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. **การบำบัดน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

ชันยาภรณ์ ปัญจวรานนท์ . 2540. **การพัฒนากระบวนการปรับคุณภาพน้ำโดยใช้ระบบกรองสัมผัส .** วิทยานิพนธ์วิศวกรรม ศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณรงค์ วุทธเสถียร . 2543. **การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม .** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ทัศณา เกื้อเส้ง ชัยศรี สุขสาโรจน์ จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์ และธันวดี เตชะภัททวรกุล . 2552. **ประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับแคทไอออนิกโพลีเมอร์และถ่านกัมมันต์แบบผงในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปา .** เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย-สงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 วันที่ 21-22 พฤษภาคม 2552.

นิธิมา เคารพครู . 2546. **โรคระบบทางเดินอาหารที่เกิดจากอาหารและน้ำเป็นสื่อในเด็ก .** วารสารส่งเสริมสุขภาพและสิ่งแวดล้อม. 6: 27-33.

นิวัตน์ มุหมีน. 2551. **การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยระบบกรองสัมผัส กรณีศึกษา : อ่างเก็บน้ำศรีตรัง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ .**โครงงานที่ Env 4/2550 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปรีชา แสงพิสิทธิ์. 2531**. การประยุกต์ใช้ระบบการกรองโดยตรง .** วิทยานิพนธ์วิศวกรรม ศาสตร-มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปวิตร ชัยวิสิทธิ์. 2548. **การประเมินประสิทธิภาพของระบบประปาและความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ .** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร-มหาบัณฑิต . สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย-สงขลานครินทร์.

พรชัย ธรณธรรม . 2515 . **การกรองด้วยสารกรองหลายชั้น .** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรม ศาสตร-มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ . 2542. **วิศวกรรมการประปา เล่ม 1.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542. **วิศวกรรมการประปา เล่ม 2.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิเชียร เกตุสิงห์ . 2545. **การใช้โปรแกรม SPSS for Windows และการแปลผลการวิเคราะห์ .** พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์เจริญผล.

สมบูรณ์ ลุวีระ . 2530. **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ .** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

สร้อยดาว วินิจนันทรัตน์ และ รติกร แสงห้าว. 2547. **การใช้ประโยชน์จากเมล็ดผลไม้ในฐานะเป็นสารโคแอกกูแลนด์และโคแอกกูแลนด์เอด .** สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

แสงระวี รัชตนันทิ. 2541. **การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรม ศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักบริหารจัดการน้ำ . 2548. **คู่มือการก่อสร้างระบบประปาหมู่บ้านแบบผิวดินขนาดกลาง .** กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม.

การประปาส่วนภูมิภาค . 2552 . **มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค .** http://www.pwa.co.th/general/qcpwa.html (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2552]

กลุ่มวิชาสุขภาพอนามัย . 2549. **หนังสือชุดวิชา น้ำ.** http://dnfe5.nfe.go.th/ilp/42031/42011-22.htm (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2550]

Adin, A. and M. Rebhun. 1974. **High-rate contact flocculation-filtration with cationic polyelectrolytes.** J. Amer.Wat. Works. Assoc. 66: 109.

Amirtharajah, A. 1978. **Optimum backwashing of sand filter.** J. Envir. Engrs. (ASCE). 104(5):91.

APHA, AWWA and WEF. 1998. **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater.** 20th edition. Maryland: American Public Health Association.

Benefileld, L.d., Judkins, J.F. and Weand, B.L. 1982. **Process chemistry for water and wastewater treatment.** New Jersey : Prentice-Hall. pp 211-238.

Black, A.P. and Hannah, S.A. 1961. **Electrophoretic studies of turbidity removal by coagulation with aluminum sulfate.** J. Amer. Wat. Works. Assoc. 53: 438-452.

Cleasby, J.L.,M.W. Williamson, and E.R. Baumann. **Effect of Filtration Rate Changes on Quality.** J. Amer. Wat. Works. Assoc. 55(7) :197.

Culp, R. L. 1977**. Direct filtration.** J. Amer. Wat. Works. Assoc. 69: 375.

Dempsey, B.A., S.Hueymeei,J.Mentink and Tanzeer Ahmed. 1985. **Polyaluminium chloride and alum coagulation of clay-fulvic acid suspensions.** J. Amer. Wat. Works. Assoc. 77(3):74-80.

Grutsch, J.F. and R. Mallatt. 1977. **Optimizing Granular Media Filtration.** Chemical Engineering Progress. Vol. 73, No. 4 April. pp. 57-66.

Hudson, H.E., Jr. 1965. **Physical aspects of flocculation.** J. Amer. Wat. Works. Assoc. 57 : 885-892.

Hutchison, W. R. 1976. **High-rate direct filtration.** J. Amer.Wat. Works. Assoc. 68: 292-298.

Ives, K.J. 1969. **Theory of Filtration**. Special Subject No.7. International Water Supply Congress and Exhibition. London.

Ives, K.J. 1970. **Rapid filtration.** Water Research 4(3) : 201-223

Ives, K.J. 1980. **Deep Bed Filtration: Theory and Practice**. Filtration and Separation (March/April). 157.

Jung, H., and E.S. Savage. 1974. **Deep Bed Filtration**. J. Amer. Wat. Works. Assoc. 66(2): 73.

Kawamura, S. 1975. **Design and operation of high-rate filters part2**. J. Amer. Wat. Works. Assoc. 67 :653-662

Kawamura, S. 1976. **Considerations on Improving Flocculation**. J. Amer. Wat. Works. Assoc. 67:328-339

Kawamura, S. and R.R. Trussell. 1991**. Main features of large water treatment plants in Japan.** J. Amer. Wat. Works. Assoc. 83(6) : 56-62.

Kugelman, I.J. 1976. **Status of advanced waste treatment.** pp. 593-636. In H. W. Gehm and J.I. Bregmen (eds.). Handbook of Water Resources and pollution control. Van Nostand Reinhold Company. New York.

Madeesuksatid, N. 1994. **Pilot scale floto-filter study for surface water filtration.** Degree of Master of Engineering. Asian institute of Technology. Bangkok.

McCormick, R.F. and P. H. King. 1982. **Factors that effect use of direct filtration in treating surface waters.** J. Amer.Wat. Works. Assoc. 74: 234-242.

Metcalf and Eddy. 1991. **Waste Engineering Treatment Disposal and Reuse**. 3d ed. McGraw-Hill. Inc. Singapore.1335 p.

Mouri M,Niwa C. 1993. **Pilot plant studies on filtration of raw sewage using floating media and multiple filter column inlets.** Wat.Sci.Tech. 28(7):143-151.

NGO and Vigneswaran. 1995. **Application of Floating Medium Filter in Water and Wastewater Treatment with Contact Flocculation Filtration Arrangement.** School of Civil Engineering University of Technology Sydney Australia.

Nieuwstad, T. J. E. P. Mulder, A. H. Havelaar and M. Olphen. 1988. **Elimination of micro-organisms from wastewater by tertiary precipitation and simultaneous precipitation followed by filtration.** Water Res. 22: 1389-1397.

O'Melia, C.R. and W. Stumm. 1969. **Theory of water filtration.** J. Amer. Wat. Works. Assoc. 59 :1393.

Schulz, C.R. and D.A. Okun. 1984. **Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries.** John wiley and sons. Inc. New York. 299 p.

Shea, T. G. W. E. Gates and Y. A. Aguman. 1971. **Experimental evaluation of operating variable in contact flocculation.** J. Amer.Wat. Works. Assoc. 63: 41.

Sundarakumar. R. 1996. **Pilot-scale study on floating media filtration for surface water treatment.** Degree of Master of Engineering. Asian Institute of technology. Bangkok.

Sweeney, G.E. and P.M. Prendivelle. 1974. **Direct filtration : An economic answer to a city's water needs.** J. Amer. Wat. Works. Assoc. 66: 65-71.

Tachapattaworakul, T. 2001. **Application of Synthetic Media for Contact Flocculation Filtration with Dual Media Filter**. Degree of Master of Science Mahidol University.

Tate, C.H., J.S. Lang and H.L. Hutchison. 1977. **Pilot plant tests of direct filtration**. J. Amer. Wat. Works. Assoc. 69:379.

Tchobanoglous G, Schroeder E.D. 1985. **Water quality.** New York: Addison Wesley.

Tebbutt, T.H.Y. 1971. **An investigation into tertiary treatment by rapid filtration**. Water Res. 5 : 81-92.

Tuepker, J.L. and C.A. Buescher, Jr. **Operation and Maintenance of Rapid Sand and Mixed Media Filters on a Lime Softening Plant**. J. Amer. Wat. Works. Assoc. 60 : 1377-1388.

Vigneswaran, S. D.M. Tam and C.R. Schulz.1983. **Water Filtration technology for Developing Country**. ENSIC REVIEW. Thailand. 110 p.

Yao, K.M., Habelian, M.T. and O'melia, C.R. 1971. **Water and Waste Water Filtration concepts and application**. Environmental Sci and Tech. 5 (11): 1105.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
คุณภาพน้ำดิบอ่างเก็บน้ำศรีตรัง

ภาคผนวก ก

ตารางผนวกที่ ก-1 คุณภาพน้ำดิบอ่างเก็บน้ำศรีตรังระยะเวลา 9 เดือน (กันยายน 2550 – พฤษภาคม 2551)

วันที่เก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์					
	ความขุ่น (NTU)	พีเอช	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	ค่าความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ค่า UV-254 (cm^{-1})
14 กันยายน 2550	18.2	7.4	28.8	16.5	81.2	0.2
16 กันยายน 2550	12.4	7.2	29.8	14.5	77.3	0.2
17 กันยายน 2550	15.0	7.3	29.8	13.7	69.7	0.3
20 กันยายน 2550	11.2	7.2	29.7	17.3	69.3	0.2
8 ตุลาคม 2550	10.0	7.5	29.7	19.5	75.5	0.3
27 ตุลาคม 2550	10.5	7.3	28.8	14.5	72.3	0.2
5 พฤศจิกายน 2550	11.0	7.2	29.6	16.2	82.2	0.2
20 พฤศจิกายน 2550	7.5	7.6	29.5	17.5	74.5	0.3
26 พฤศจิกายน2550	10.0	7.4	29.3	15.5	72.1	0.3
7 ธันวาคม 2550	13.0	7.5	29.7	14.5	75.0	0.3
10 ธันวาคม2550	9.6	7.4	29.5	15.5	72.4	0.3
12 ธันวาคม 2550	10.0	7.5	29.8	14.6	75.5	0.3

ตารางผนวกที่ ก-1 (ต่อ) คุณภาพน้ำดิบอ่างเก็บน้ำศรีตรังระยะเวลา 9 เดือน (กันยายน 2550 – พฤษภาคม 2551)

วันที่เก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์					
	ความขุ่น (NTU)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	ค่าความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ค่า UV-254 (cm^{-1})
23 ธันวาคม2550	10.7	7.6	29.4	13.5	77.6	0.3
28 ธันวาคม2550	5.5	7.3	28.8	17.2	72.6	0.2
2 มกราคม 2551	5.8	7.2	29.2	16.5	75.5	0.3
5 มกราคม 2551	9.7	7.2	29.6	15.5	74.3	0.3
4 กุมภาพันธ์ 2551	12.5	7.2	29.2	16.4	80.4	0.2
21 กุมภาพันธ์ 2551	10.5	7.2	29.7	15.8	87.0	0.2
10 มีนาคม 2551	11.5	7.2	29.2	17.0	81.3	0.2
21 มีนาคม 2551	12.5	7.4	29.3	16.8	82.4	0.3
2 เมษายน 2551	12.4	7.4	29.5	15.8	73.6	0.3
5 เมษายน2551	10.8	7.5	29.7	16.3	78.8	0.3
9 เมษายน2551	11.5	7.4	29.3	15.5	82.3	0.3
15 เมษายน2551	10.2	7.6	29.4	15.2	78.5	0.3
18 เมษายน2551	13.1	7.5	29.8	16.3	74.6	0.3
21 เมษายน2551	11.3	7.3	30.1	16.5	80.5	0.3

ตารางผนวกที่ ก-1 (ต่อ) คุณภาพน้ำดิบอ่างเก็บน้ำศรีตรังระยะเวลา 9 เดือน (กันยายน 2550 – พฤษภาคม 2551)

วันที่เก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์					
	ความขุ่น (NTU)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	ค่าความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ค่า UV-254 (cm^{-1})
4 พฤษภาคม 2551	12.2	7.4	30.2	15.8	81.3	0.2
9 พฤษภาคม 2551	11.4	7.6	30.1	14.5	75.4	0.2
18 พฤษภาคม 2551	10.7	7.2	29.8	15.4	83.3	0.2

ภาคผนวก ข
ผลการทำจาร์เทสต์น้ำดิบและน้ำสังเคราะห์

ภาคผนวก ข

ตารางภาคผนวกที่ ข-1 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรังด้วยสารส้มแบบไม่ควบคุมพีเอช จำนวน 4 ครั้ง

วันที่	พารามิเตอร์						
	ปริมาณสารส้ม (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	ค่าความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ค่า UV-254 (cm^{-1})
14 กันยายน 2550	0.0	11.5	6.8	28.8	16.5	81.5	0.2
	10.0	3.1	6.5	28.8	16.0	81.9	0.0
	20.0	1.0	6.3	28.8	12.0	86.1	0.0
	30.0	1.4	6.2	28.6	10.5	90.0	0.1
	40.0	2.0	5.6	28.6	9.0	93.9	0.1
	50.0	2.3	5.2	28.8	6.0	98.1	0.1
16 กันยายน 2550	0.0	14.3	6.5	29.5	14.3	73.6	0.2
	10.0	1.8	6.2	29.8	12.0	75.3	0.1
	20.0	1.1	6.2	29.9	9.0	79.5	0.0
	30.0	1.3	5.9	29.8	7.0	84.2	0.1
	40.0	1.7	5.6	29.7	5.0	88.3	0.2
	50.0	1.9	5.1	29.8	3.5	93.5	0.2

ตารางภาคผนวกที่ ข-1 (ต่อ) ผลการทำจาร์เทสต์น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำศรีตรังด้วยสารส้มแบบไม่ควบคุมพีเอช จำนวน 4 ครั้ง

วันที่	พารามิเตอร์						
	ปริมาณสารส้ม (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	ค่าความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	ค่า UV-254 (cm^{-1})
17 กันยายน 2550	0.0	10.4	6.8	29.8	13.5	73.6	0.2
	10.0	2.2	6.7	30.0	12.5	76.1	0.0
	20.0	1.2	6.5	30.2	10.5	78.3	0.0
	30.0	1.5	6.3	29.9	7.0	84.4	0.0
	40.0	1.6	6.0	29.9	5.0	88.7	0.1
	50.0	1.8	5.7	30.0	3.5	92.5	0.1
20 กันยายน 2550	0.0	15.6	7.0	29.6	16.5	75.6	0.2
	10.0	2.8	6.7	28.5	16.0	82.9	0.0
	20.0	1.3	6.4	28.5	15.0	85.2	0.0
	30.0	1.6	6.2	28.4	14.5	88.3	0.1
	40.0	2.1	5.4	28.6	12.0	93.2	0.1
	50.0	2.5	5.2	28.5	9.0	96.6	0.1

ตารางภาคผนวกที่ ข-2 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ด้วยสารส้มแบบไม่ควบคุมพีเอช (3 ตุลาคม 2550)

	พารามิเตอร์					
ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	ปริมาณสารส้ม (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	ค่าความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)
10.0	0.0	9.7	7.1	29.1	13.5	186.7
	10.0	1.0	6.8	29.1	12.0	187.6
	20.0	0.8	6.1	29.2	10.0	189.9
	30.0	1.2	5.7	29.5	8.0	192.8
	40.0	1.7	5.3	29.5	5.0	196.4
	50.0	2.4	5.1	29.6	4.0	198.3
20.0	0.0	19.7	7.4	27.9	12.8	191.6
	10.0	2.4	6.9	27.9	12.0	197.8
	20.0	1.6	6.1	28.2	11.8	193.4
	30.0	1.9	5.5	28.2	8.5	196.7
	40.0	2.4	5.3	28.2	3.5	198.2
	50.0	2.8	5.2	27.8	3.0	194.1

ตารางภาคผนวกที่ ข-2 (ต่อ) ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ด้วยสารส้มแบบไม่ควบคุมพีเอช (3 ตุลาคม 2550)

	พารามิเตอร์					
ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	ปริมาณสารส้ม (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	ค่าความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)
30.0	0.0	29.7	7.1	27.8	13.5	191.5
	10.0	3.5	6.9	29.3	13.0	192.6
	20.0	3.0	6.3	29.5	10.5	195.8
	30.0	3.4	5.5	29.5	8.5	198.4
	40.0	3.8	5.2	29.8	5.5	202.5
	50.0	3.9	5.1	29.8	3.5	195.7

ตารางภาคผนวกที่ ข-3 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ด้วยสารส้มแบบไม่ควบคุมพีเอช (4 ตุลาคม 2550)

	พารามิเตอร์					
ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	ปริมาณสารส้ม (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	ค่าความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)
10.0	0.0	9.6	7.2	29.8	14.2	186.7
	10.0	1.0	6.9	29.8	13.0	188.5
	20.0	0.9	6.2	29.8	10.5	190.2
	30.0	1.2	5.9	29.9	8.5	193.3
	40.0	1.7	5.7	29.8	4.5	196.7
	50.0	2.0	5.3	29.7	3.5	197.8
20.0	0.0	19.6	7.3	29.3	16.2	188.5
	10.0	2.3	6.8	29.2	14.5	190.4
	20.0	1.4	6.2	29.2	11.5	193.6
	30.0	1.6	5.8	29.3	9.5	195.7
	40.0	1.8	5.5	29.3	8.0	198.3
	50.0	2.1	5.2	29.3	6.5	199.7

ตารางภาคผนวกที่ ข-3 (ต่อ) ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ด้วยสารส้มแบบไม่ควบคุมพีเอช (4 ตุลาคม 2550)

	พารามิเตอร์					
ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	ปริมาณสารส้ม (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	ค่าความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)
30.0	0.0	29.8	7.0	29.1	15.8	192.5
	10.0	3.2	6.9	29.3	14.5	194.7
	20.0	3.0	6.1	29.5	12.0	196.3
	30.0	3.5	5.8	29.5	9.5	198.6
	40.0	3.7	5.6	29.5	8.0	193.6
	50.0	3.8	5.3	29.5	6.0	190.8

ตารางภาคผนวกที่ ข-4 ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ด้วยสารส้มแบบไม่ควบคุมพีเอช (5 ตุลาคม 2550)

	พารามิเตอร์					
ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	ปริมาณสารส้ม (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	ค่าความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)
10.0	0.0	9.8	7.0	27.5	12.5	191.6
	10.0	1.0	6.9	27.5	11.5	194.6
	20.0	0.8	6.1	27.9	9.8	197.1
	30.0	1.2	5.7	27.8	8.5	198.3
	40.0	1.4	5.4	27.8	6.0	199.2
	50.0	1.8	5.3	27.8	5.5	201.3
20.0	0.0	19.8	7.1	29.5	11.7	193.2
	10.0	2.3	6.9	29.5	11.0	196.6
	20.0	1.4	6.0	29.7	10.0	199.8
	30.0	1.7	5.7	29.5	8.0	201.2
	40.0	2.0	5.5	29.6	5.0	195.5
	50.0	2.3	5.2	29.4	4.5	193.7

ตารางภาคผนวกที่ ข-4 (ต่อ) ผลการทำจาร์เทสต์น้ำสังเคราะห์ด้วยสารส้มแบบไม่ควบคุมพีเอช (5 ตุลาคม 2550)

	พารามิเตอร์					
ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	ปริมาณสารส้ม (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	ค่าความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)
30.0	0.0	29.8	7.2	29.5	12.7	193.7
	10.0	3.7	6.9	29.7	12.0	195.4
	20.0	3.2	6.4	29.7	11.0	198.2
	30.0	3.4	5.7	29.9	8.5	195.3
	40.0	3.7	5.4	29.5	7.0	192.4
	50.0	3.8	5.2	29.5	6.0	197.2

ภาคผนวก ค
ผลการทดลองระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง และทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์

ภาคผนวก ค

ตารางภาคผนวกที่ ค-1 ความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรองและปริมาณน้ำที่ผลิตได้เมื่อทดลองระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง

อัตรากรอง (m^3/m^2-hr)	ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	ความขุ่นน้ำออก (NTU)			เฉลี่ย	S.D.	ระยะเวลาการกรอง (ชม.)			เฉลี่ย	S.D.	ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ (ลิตร/ชม.)			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
5	10	2.4	2.5	2.0	2.3	0.9	16.0	16.5	16.0	16.1	0.2	624.0	643.5	624.0	630.5	11.25
	20	3.3	3.5	3.4	3.4	0.6	14.0	14.3	13.0	13.7	0.6	546.0	557.7	507.0	536.9	26.54
	30	4.0	4.6	4.7	4.4	0.2	11.3	10.0	11.2	10.8	0.7	440.7	390.0	436.8	422.5	28.21
10	10	2.6	1.9	1.8	2.1	0.9	15.2	14.3	14.2	14.5	0.5	1,185.6	1,115.4	1,107.6	1,136.2	42.95
	20	3.2	3.3	3.0	3.2	0.7	12.4	11.3	11.1	11.6	0.7	967.2	881.4	865.8	904.8	54.60
	30	4.3	3.9	3.9	4.1	0.4	8.2	7.3	7.0	7.5	0.6	639.6	569.4	546.0	585.0	48.71
15	10	2.4	1.9	2.1	2.1	0.9	8.3	8.5	9.3	8.7	0.5	996.0	1,020.0	1,116.0	1,044.0	63.49
	20	3.3	3.6	3.5	3.5	0.6	6.3	7.2	7.3	6.9	0.5	756.0	864.0	876.0	832.0	66.09
	30	4.4	4.9	4.8	4.7	0.1	5.2	5.3	4.1	4.8	0.6	624.0	636.0	492.0	584.0	79.90

ตารางภาคผนวกที่ ค-2 ความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ที่ผ่านการกรอง ระยะเวลาการกรองและปริมาณน้ำที่ผลิตได้เมื่อทดลองระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์

อัตราส่วนสารกรอง	ความขุ่นน้ำเข้า (NTU)	ความขุ่นน้ำออก (NTU)			เฉลี่ย	S.D.	ระยะเวลาการกรอง (ชม.)			เฉลี่ย	S.D.	ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ (ลิตร/ชม.)			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3			1	2	3			1	2	3		
1.3	10	1.7	1.8	1.6	1.7	1.4	27.2	26.3	26.3	26.6	0.5	2,121.6	2,051.4	2,051.4	2,074.8	40.5
	20	1.8	1.5	2.0	1.8	1.2	23.3	24.1	24.2	23.8	0.4	1,817.4	1,879.8	1,887.6	1,861.6	38.4
	30	2.1	1.8	2.1	2.0	0.9	20.4	21.2	20.3	20.6	0.4	1,591.2	1,653.6	1,583.4	1,609.4	38.4
0.7	10	2.0	1.8	2.0	1.9	1.3	22.5	23.3	23.1	22.9	0.4	1,755.0	1,817.4	1,801.8	1,791.4	32.4
	20	1.9	2.6	1.7	2.1	1.1	19.2	18.0	19.3	18.8	0.7	1,497.6	1,404.0	1,505.4	1,469.0	56.4
	30	3.4	2.5	2.6	2.9	0.7	15.0	14.0	14.2	14.40	0.5	1,170.0	1,092.0	1,107.6	1,123.2	41.2
0.4	10	1.9	1.8	2.3	2.0	1.1	15.2	17.0	16.2	16.1	0.9	1,185.6	1,326.0	1,269.8	1,260.5	70.6
	20	2.9	2.2	2.8	2.6	1.1	10.3	11.4	12.2	11.3	0.9	804.9	889.2	951.6	881.9	73.5
	30	3.4	3.2	3.4	3.3	0.6	9.1	9.2	8.3	8.8	0.5	713.7	717.6	647.4	692.9	39.4

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง และทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์

ภาคผนวก ง

ตารางผนวกที่ ง-1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบของระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรอง

ความขุ่นน้ำเข้าระบบ (NTU)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Chi Square	df	Sig.
					Lower Bound	Upper Bound					
10.00	9	2.2389	.28799	.09600	2.0175	2.4603	1.87	2.64	23.150	2	.000
20.00	9	3.4000	.19300	.06433	3.2516	3.5484	3.02	3.68			
30.00	9	4.4289	.38440	.12813	4.1334	4.7244	3.92	4.90			
Total	27	3.3559	.95580	.18394	2.9778	3.7340	1.87	4.90			

ตารางผนวกที่ ง-2 ผลการเปรียบเทียบความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อความขุ่นน้ำออกจากระบบ

ความขุ่นน้ำเข้าระบบ		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
10.00	20.00	-1.1611*	.14088	.000	-1.4519	-.8703
	30.00	-2.1900*	.14088	.000	-2.4808	-1.8992
20.00	10.00	1.1611*	.14088	.000	.8703	1.4519
	30.00	-1.0289*	.14088	.000	-1.3197	-.7381
30.00	10.00	2.1900*	.14088	.000	1.8992	2.4808
	20.00	1.0289*	.14088	.000	.7381	1.3197

* The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ ง-3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรองน้ำ

ความขุ่นน้ำเข้าระบบ (NTU)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Chi Square	df	Sig.
					Lower Bound	Upper Bound					
10.00	9	13.1444	3.42896	1.14299	10.5087	15.7802	8.30	16.50	10.020	2	.007
20.00	9	10.7667	3.07571	1.02524	8.4025	13.1309	6.30	14.30			
30.00	9	7.7333	2.65424	.88475	5.6931	9.7736	4.10	11.30			
Total	27	10.5481	3.71332	.71463	9.0792	12.0171	4.10	16.50			

ตารางผนวกที่ ง-4 ผลการเปรียบเทียบความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรองน้ำ

ความขุ่นน้ำเข้าระบบ		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
10.00	20.00	2.3778	1.44691	.113	-.6085	5.3640
	30.00	5.4111*	1.44691	.001	2.4248	8.3974
20.00	10.00	-2.3778	1.44691	.113	-5.3640	.6085
	30.00	3.0333*	1.44691	.047	.0471	6.0196
30.00	10.00	-5.4111*	1.44691	.001	-8.3974	-2.4248
	20.00	-3.0333*	1.44691	.047	-6.0196	-.0471

* The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ ง-5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

ความขุ่นน้ำเข้าระบบ (NTU)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Chi Square	df	Sig.
					Lower Bound	Upper Bound					
10.00	9	936.9000	236.43816	78.81272	755.1575	1118.6425	624.00	1185.60	12.878	2	.002
20.00	9	757.9000	174.58595	58.19532	623.7014	892.0986	507.00	967.20			
30.00	9	530.5000	94.60114	31.53371	457.7831	603.2169	390.00	639.60			
Total	27	741.7667	240.94360	46.36962	646.4526	837.0808	390.00	1185.60			

ตารางผนวกที่ ง-6 ผลการเปรียบเทียบความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

ความขุ่นน้ำเข้าระบบ		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
10.00	20.00	179.0000*	84.03378	.044	5.5628	352.4372
	30.00	406.4000*	84.03378	.000	232.9628	579.8372
20.00	10.00	-179.0000*	84.03378	.044	-352.4372	-5.5628
	30.00	227.4000*	84.03378	.012	53.9628	400.8372
30.00	10.00	-406.4000*	84.03378	.000	-579.8372	-232.9628
	20.00	-227.4000*	84.03378	.012	-400.8372	-53.9628

* The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ ง-7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตรากรองต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ

อัตรากรอง	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Chi Square	df	Sig.
					Lower Bound	Upper Bound					
5.00	9	3.4333	.94254	.31418	2.7088	4.1578	2.08	4.73	1.017	2	.601
10.00	9	3.1444	.87403	.29134	2.4726	3.8163	1.87	4.35			
15.00	9	3.4900	1.11331	.37110	2.6342	4.3458	1.99	4.90			
Total	27	3.3559	.95580	.18394	2.9778	3.7340	1.87	4.90			

ตารางผนวกที่ ง-8 ผลการเปรียบเทียบอัตรากรองต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบ

อัตรากรอง		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5.00	10.00	.2889	.46814	.543	-.6773	1.2551
	15.00	-.0344	.46814	.942	-1.0006	.9317
10.00	5.00	-.2889	.46814	.543	-1.2551	.6773
	15.00	-.3233	.46814	.496	-1.2895	.6429
15.00	5.00	.0344	.46814	.942	-.9317	1.0006
	10.00	.3233	.46814	.496	-.6429	1.2895

* The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ ง-9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตรากรองต่อระยะเวลาการกรอง

อัตรากรอง	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Chi Square	df	Sig.
					Lower Bound	Upper Bound					
5.00	9	13.5889	2.37036	.79012	11.7669	15.4109	10.00	16.50	14.703	2	.001
10.00	9	11.2222	3.12081	1.04027	8.8234	13.6211	7.00	15.20			
15.00	9	6.8333	1.73710	.57903	5.4981	8.1686	4.10	9.30			
Total	27	10.5481	3.71332	.71463	9.0792	12.0171	4.10	16.50			

ตารางผนวกที่ ง-10 ผลการเปรียบเทียบอัตรากรองต่อระยะเวลาการกรอง

อัตรากรอง		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5.00	10.00	2.3667	1.16668	.054	-.0413	4.7746
	15.00	6.7556*	1.16668	.000	4.3476	9.1635
10.00	5.00	-2.3667	1.16668	.054	-4.7746	.0413
	15.00	4.3889*	1.16668	.001	1.9810	6.7968
15.00	5.00	-6.7556*	1.16668	.000	-9.1635	-4.3476
	10.00	-4.3889*	1.16668	.001	-6.7968	-1.9810

* The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ ง-11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตรากรองต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

อัตรากรอง	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Chi Square	df	Sig.
					Lower Bound	Upper Bound					
5.00	9	529.9667	92.44408	30.81469	458.9079	601.0255	390.00	643.50	10.845	2	.004
10.00	9	875.3333	243.42305	81.14102	688.2218	1062.4449	546.00	1185.60			
15.00	9	820.0000	208.45143	69.48381	659.7700	980.2300	492.00	1116.00			
Total	27	741.7667	240.94360	46.36962	646.4526	837.0808	390.00	1185.60			

ตารางผนวกที่ ง-12 ผลการเปรียบเทียบอัตรากรองต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

อัตรากรอง		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5.00	10.00	-345.3667*	90.77962	.001	-532.7266	-158.0067
	15.00	-290.0333*	90.77962	.004	-477.3933	-102.6734
10.00	5.00	345.3667*	90.77962	.001	158.0067	532.7266
	15.00	55.3333	90.77962	.548	-132.0266	242.6933
15.00	5.00	290.0333*	90.77962	.004	102.6734	477.3933
	10.00	-55.3333	90.77962	.548	-242.6933	132.0266

* The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ ง-13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของน้ำสังเคราะห์

		ความขุ่นน้ำเข้าระบบ	อัตรากรองน้ำสังเคราะห์	ความขุ่นน้ำออกระบบ	ระยะเวลาการกรอง	ปริมาณน้ำที่ผลิตได้
ความขุ่นน้ำเข้าระบบ	Pearson Correlation	1	.000	.953**	-.606**	-.702**
	Sig. (2-tailed)	.	1.000	.000	.001	.000
	N	27	27	27	27	27
อัตรากรองน้ำสังเคราะห์	Pearson Correlation	.000	1	.025	-.757**	.501**
	Sig. (2-tailed)	1.000	.	.903	.000	.008
	N	27	27	27	27	27
ความขุ่นน้ำออกระบบ	Pearson Correlation	.953**	.025	1	-.593**	-.708**
	Sig. (2-tailed)	.000	.903	.	.001	.000
	N	27	27	27	27	27
ระยะเวลาการกรอง	Pearson Correlation	-.606**	-.757**	-.593**	1	.134
	Sig. (2-tailed)	.001	.000	.001	.	.504
	N	27	27	27	27	27
ปริมาณน้ำที่ผลิตได้	Pearson Correlation	-.702**	.501**	-.708**	.134	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.008	.000	.504	.
	N	27	27	27	27	27

ตารางผนวกที่ ง-14 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อค่าความขุ่นน้ำออกจากระบบ

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.953[a]	.909	.905	.29460

a. Predictors: (Constant), ความขุ่นน้ำเข้าระบบ

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.166	.150		7.773	.000
	ความขุ่นน้ำเข้าระบบ	.110	.007	.953	15.769	.000

a. Dependent Variable: ความขุ่นน้ำออกจากระบบ

ตารางผนวกที่ ง-15 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราการกรองน้ำต่อระยะเวลาการกรองน้ำสังเคราะห์

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.757[a]	.573	.556	2.47498
2	.970[b]	.940	.935	.94379

a. Predictors: (Constant), อัตรากรอง

b. Predictors: (Constant), อัตรากรอง, ความขุ่นน้ำเข้าระบบ

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	17.304	1.260		13.731	.000
	อัตรากรอง	-.676	.117	-.757	-5.790	.000
2	(Constant)	22.715	.655		34.685	.000
	อัตรากรอง	-.676	.044	-.757	-15.184	.000
	ความขุ่นน้ำเข้าระบบ	-.271	.022	-.606	-12.162	.000

a. Dependent Variable: ระยะเวลาการกรอง

ตารางผนวกที่ ง-16 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราการกรองน้ำต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.702[a]	.492	.472	175.06284
2	.862[b]	.743	.722	127.08887

a. Predictors: (Constant), ความขุ่นน้ำเข้าระบบ

b. Predictors: (Constant), ความขุ่นน้ำเข้าระบบ, อัตรากรอง

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1148.167	89.138		12.881	.000
	ความขุ่นน้ำเข้าระบบ	-20.320	4.126	-.702	-4.925	.000
2	(Constant)	858.133	88.186		9.731	.000
	ความขุ่นน้ำเข้าระบบ	-20.320	2.996	-.702	-6.783	.000
	อัตรากรอง	29.003	5.991	.501	4.841	.000

a. Dependent Variable: ปริมาณน้ำที่ผลิตได้

ตารางผนวกที่ ง-17 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อความขุ่นของน้ำออกจากระบบของระบบกรองสัมผัสชนิดทรายกรองร่วมกับแอนทราไซต์

ความขุ่นน้ำเข้าระบบ (NTU)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Chi Square	df	Sig.
					Lower Bound	Upper Bound					
10.00	9	1.9300	.18735	.06245	1.7860	2.0740	1.67	2.31	8.172	2	.017
20.00	9	2.2022	.50860	.16953	1.8113	2.5932	1.52	2.96			
30.00	9	2.8022	.68408	.22803	2.2764	3.3281	1.81	3.52			
Total	27	2.3115	.61012	.11742	2.0701	2.5528	1.52	3.52			

ตารางผนวกที่ ง-18 ผลการเปรียบเทียบความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อความขุ่นน้ำออกจากระบบ

ความขุ่นน้ำเข้าระบบ		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
10.00	20.00	-.2722	.23754	.263	-.7625	.2180
	30.00	-.8722*	.23754	.001	-1.3625	-.3820
20.00	10.00	.2722	.23754	.263	-.2180	.7625
	30.00	-.6000*	.23754	.019	-1.0903	-.1097
30.00	10.00	.8722*	.23754	.001	.3820	1.3625
	20.00	.6000*	.23754	.019	.1097	1.0903

* The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ ง-19 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรอง

ความขุ่นน้ำเข้าระบบ (NTU)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Chi Square	df	Sig.
					Lower Bound	Upper Bound					
10.00	9	21.9089	4.62404	1.54135	18.3545	25.4632	15.20	27.20	7.228	2	.027
20.00	9	17.9800	5.53860	1.84620	13.7227	22.2373	10.32	24.20			
30.00	9	14.6389	5.11015	1.70338	10.7109	18.5669	8.30	21.20			
Total	27	18.1759	5.76370	1.10923	15.8959	20.4560	8.30	27.20			

ตารางผนวกที่ ง-20 ผลการเปรียบเทียบความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อระยะเวลาการกรอง

ความขุ่นน้ำเข้าระบบ		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
10.00	20.00	3.9289	2.40634	.116	-1.0376	8.8953
	30.00	7.2700*	2.40634	.006	2.3036	12.2364
20.00	10.00	-3.9289	2.40634	.116	-8.8953	1.0376
	30.00	3.3411	2.40634	.178	-1.6253	8.3076
30.00	10.00	-7.2700*	2.40634	.006	-12.2364	-2.3036
	20.00	-3.3411	2.40634	.178	-8.3076	1.6253

* The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ ง-21 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

ความขุ่นน้ำเข้าระบบ (NTU)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Chi Square	df	Sig.
					Lower Bound	Upper Bound					
10.00	9	1708.889	360.68091	120.2270	1431.6450	1986.1328	1185.60	2121.60	7.228	2	.027
20.00	9	1404.173	429.93176	143.3106	1073.6985	1734.6481	804.96	1887.60			
30.00	9	1141.833	398.59153	132.8638	835.4488	1448.2179	647.40	1653.60			
Total	27	1418.299	448.93616	86.39780	1240.7053	1595.8917	647.40	2121.60			

ตารางผนวกที่ ง-22 ผลการเปรียบเทียบความขุ่นน้ำเข้าระบบต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

ความขุ่นน้ำเข้าระบบ		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
10.00	20.00	304.7156	187.3415	.117	-81.9383	691.3694
	30.00	567.0556*	187.3415	.006	180.4017	953.7094
20.00	10.00	-304.7156	187.3415	.117	-691.3694	81.9383
	30.00	262.3400	187.3415	.174	-124.3138	648.9938
30.00	10.00	-567.0556*	187.3415	.006	-953.7094	-180.4017
	20.00	-262.3400	187.3415	.174	-648.9938	124.3138

* The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ ง-23 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราส่วนสารกรองต่อความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบ

อัตราส่วนสารกรอง	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Chi Square	df	Sig.
					Lower Bound	Upper Bound					
1.3	9	1.8667	.21656	.07219	1.7002	2.0331	1.52	2.17	10.088	2	.006
0.7	9	2.3278	.55686	.18562	1.8997	2.7558	1.77	3.49			
0.4	9	2.7400	.65065	.21688	2.2399	3.2401	1.87	3.52			
Total	27	2.3115	.61012	.11742	2.0701	2.5528	1.52	3.52			

ตารางผนวกที่ ง-24 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนสารกรองต่อความขุ่นน้ำออกจากระบบ

อัตราส่วนสารกรอง		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.3	0.7	-.4611	.24042	.067	-.9573	.0351
	0.4	-.8733*	.24042	.001	-1.3695	-.3771
0.7	1.3	.4611	.24042	.067	-.0351	.9573
	0.4	-.4122	.24042	.099	-.9084	.0840
0.4	1.3	.8733*	.24042	.001	.3771	1.3695
	0.7	.4122	.24042	.099	-.0840	.9084

* The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ ง-25 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราส่วนสารกรองต่อระยะเวลาการกรอง

อัตราส่วนสารกรอง	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Chi Square	df	Sig.
					Lower Bound	Upper Bound					
1.3	9	23.7000	2.62298	.87433	21.6838	25.7162	21.30	27.20	18.171	2	0.000
0.7	9	18.7333	3.74299	1.24766	15.8562	21.6105	14.00	23.30			
0.4	9	12.0944	3.28468	1.09489	9.5696	14.6193	8.30	17.00			
Total	27	18.1759	5.76370	1.10923	15.8959	20.4560	8.30	27.20			

ตารางผนวกที่ ง-26 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนสารกรองต่อระยะเวลาการกรอง

อัตราส่วนสารกรอง		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.3	0.7	4.9667*	1.53186	.003	1.8051	8.1283
	0.4	11.6056*	1.53186	.000	8.4439	14.7672
0.7	1.3	-4.9667*	1.53186	.003	-8.1283	-1.8051
	0.4	6.6389*	1.53186	.000	3.4773	9.8005
0.4	1.3	-11.6056*	1.53186	.000	-14.7672	-8.4439
	0.7	-6.6389*	1.53186	.000	-9.8005	-3.4773

* The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ ง-27 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราส่วนสารกรองต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

อัตราส่วนสารกรอง	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	Chi Square	df	Sig.
					Lower Bound	Upper Bound					
1.3	9	1848.600	204.59208	68.19736	1691.3366	2005.8634	1583.40	2121.60	18.171	2	.000
0.7	9	1461.200	291.95349	97.31783	1236.7847	1685.6153	1092.00	1817.40			
0.4	9	945.0956	256.19546	85.39849	748.1663	1142.0248	647.40	1326.00			
Total	27	1418.299	448.93616	86.39780	1240.7053	1595.8917	647.40	2121.60			

ตารางผนวกที่ ง-28 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนสารกรองต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

อัตราส่วนสารกรอง		Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.3	0.7	387.4000*	119.4837	.003	140.7977	634.0023
	0.4	903.5044*	119.4837	.000	656.9022	1150.1067
0.7	1.3	-387.400*	119.4837	.003	-634.0023	-140.7977
	0.4	516.1044*	119.4837	.000	269.5022	762.7067
0.4	1.3	-903.5044*	119.4837	.000	-1150.1067	-656.9022
	0.7	-516.1044*	119.4837	.000	-762.7067	-269.5022

* The mean difference is significant at the .05 level

ตารางผนวกที่ ง-29 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของน้ำสังเคราะห์

		ความขุ่นน้ำเข้าระบบ	อัตราส่วนสารกรอง	ความขุ่นน้ำออกระบบ	ระยะเวลาการกรอง	ปริมาณน้ำที่ผลิตได้
ความขุ่นน้ำเข้าระบบ	Pearson Correlation	1	.000	.595**	-.525**	-.525**
	Sig. (2-tailed)	.	1.000	.001	.005	.005
	N	27	27	27	27	27
อัตราส่วนสารกรอง	Pearson Correlation	.000	1	.595**	-.838**	-.837**
	Sig. (2-tailed)	1.000	.	.001	.000	.000
	N	27	27	27	27	27
ความขุ่นน้ำออกระบบ	Pearson Correlation	.595**	.595**	1	-.829**	-.829**
	Sig. (2-tailed)	.001	.001	.	.000	.000
	N	27	27	27	27	27
ระยะเวลาการกรอง	Pearson Correlation	-.525**	-.838**	-.829**	1	1.000**
	Sig. (2-tailed)	.005	.000	.000	.	.000
	N	27	27	27	27	27
ปริมาณน้ำที่ผลิตได้	Pearson Correlation	-.525**	-.837**	-.829**	1.000**	1
	Sig. (2-tailed)	.005	.000	.000	.000	.
	N	27	27	27	27	27

ตารางผนวกที่ ง-30 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราส่วนสารกรองต่อความขุ่นน้ำออกจากระบบ

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.595[a]	.355	.329	.49985
2	.842[b]	.708	.684	.34296

a. Predictors: (Constant), อัตราส่วนสารกรอง

b. Predictors: (Constant), อัตราส่วนสารกรอง, ความขุ่นน้ำเข้าระบบ

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.438	.255		5.651	.000
	อัตราส่วนสารกรอง	.437	.118	.595	3.706	.001
2	(Constant)	.566	.238		2.978	.026
	อัตราส่วนสารกรอง	.437	.081	.595	5.402	.000
	ความขุ่นน้ำเข้าระบบ	4.361E-02	.008	.595	5.395	.000

a. Dependent Variable: ความขุ่นน้ำออกจากระบบ

ตารางผนวกที่ ง-31 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราส่วนสารกรองต่อระยะเวลาการกรองน้ำสังเคราะห์

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.838[a]	.702	.690	3.21016
2	.988[b]	.977	.975	.90805

a. Predictors: (Constant), อัตราส่วนสารกรอง

b. Predictors: (Constant), อัตราส่วนสารกรอง, ความขุ่นน้ำเข้าระบบ

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	29.781	1.635		18.220	.000
	อัตราส่วนสารกรอง	-5.803	.757	-.838	-7.669	.000
2	(Constant)	37.051	.630		58.804	.000
	อัตราส่วนสารกรอง	-5.803	.214	-.838	-27.112	.000
	ความขุ่นน้ำเข้าระบบ	-.364	.021	-.525	-16.984	.000

a. Dependent Variable: ระยะเวลาการกรอง

ตารางผนวกที่ ง-32 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณของความขุ่นน้ำเข้าระบบและอัตราส่วนสารกรองต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.837[a]	.701	.689	250.33532
2	.989[b]	.977	.975	70.62526

a. Predictors: (Constant), อัตราส่วนสารกรอง

b. Predictors: (Constant), อัตราส่วนสารกรอง, ความขุ่นน้ำเข้าระบบ

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2321.803	127.465		18.215	.000
	อัตราส่วนสารกรอง	-451.752	59.005	-.837	-7.656	.000
2	(Constant)	2888.859	49.006		58.949	.000
	อัตราส่วนสารกรอง	-451.752	16.647	-.837	-27.138	.000
	ความขุ่นน้ำเข้าระบบ	-28.353	1.665	-.525	-17.032	.000

a. Dependent Variable: ปริมาณน้ำที่ผลิตได้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวอาอีฉ๊ะ ละใบจิ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4877032

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (พืชศาสตร์)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช	2547

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

อาอีฉ๊ะ ละใบจิ ชัยศรี สุขสาโรจน์ และธันวดี เตชะภัททวรกุล. 2551. **การปรับปรุงคุณภาพน้ำจากอ่างเก็บน้ำด้วยระบบกรองสัมผัส.** การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย-สงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6 ในวันที่ 8- 9 พฤษภาคม 2551 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.