การบำบัดน้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีด

Treatment of Laundry Wastewater

วรายุส วรรณวิไล

Warayut Wannawilai

Order Key 20263
BIB Key 160731

เลขหมู่ TD745 .Q46 W342 ก. 2
เลขทะเบียน 2 ก.ค. 2542

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Environmental Management

Prince of Songkla University

2542

ชื่อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีด

ผู้เขียน นายวรายุส วรรณวิไล

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)

.....กรรมการ
(ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)

.....กรรมการ
(ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)

..(ไปราชการต่างประเทศ)...กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชวง ภควัตชัย)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ก้าน จันทร์พรหมมา)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีด
ผู้เขียน นายวรายุส วรรณวิไล
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

น้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดจะประกอบด้วยสิ่งเจือปนต่างๆ ซึ่งสามารถก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อแหล่งรองรับน้ำทิ้งได้ ซึ่งเกิดจากความสกปรกที่ติดมากับเนื้อผ้า ตลอดจนสารซักฟอกที่ใช้ในกระบวนการซัก การวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงลักษณะน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดประเภทต่างๆ ได้แก่ ร้านซักรีดทั่วไป กิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาล ในโรงแรมและโรงงานซักรีด ในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากขั้นตอนการซักผ้าและน้ำเสียรวม (จากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการซักรีดผสมกัน) พบว่า น้ำเสียจากขั้นตอนการซักผ้ามีค่าพีเอช ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี และฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 8.76-10.25, 82-260 NTU, 100-323 มก./ล., 184-492 มก./ล., 376-993 มก./ล. และ 14.17-19.88 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียรวมมีค่าพีเอช ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี และฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 7.25-9.0, 55-210 NTU, 47-115 มก./ล., 116-346 มก./ล., 197-615 มก./ล. และ 9.01-16.67 มก./ล. ตามลำดับ

ในการศึกษาหาสารเคมีที่เหมาะสมในการก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์เพื่อบำบัดน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด พบว่า การใช้สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ จะมีประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดี สูงกว่าสารก่อตะกอนชนิดอื่น โดยการทดลองกับน้ำซักผ้า พบว่า สามารถลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ได้ร้อยละ 96.7, 94.7 และ 76.4 ตามลำดับ และการทดลองกับน้ำรวม พบว่า สามารถลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ได้ร้อยละ 95.4, 96.7 และ 76.1 ตามลำดับ

สำหรับการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด โดยทดลองกับระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชั่น การตกตะกอนและกระบวนการกรองปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียให้ดีขึ้น มีเงื่อนไขในการทดลองโดยใช้น้ำเสียจากขั้นตอนการซักและน้ำเสียรวมผ่านเข้าสู่ระบบ ด้วยอัตราการกรองที่ต่างกัน ใช้สารกรองต่างชนิดกัน โดยในกระบวนการโคแอกกูเลชั่นนั้น ใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอน โดยมีสารโพลิเมอร์ประจุลบ เป็นสารช่วยก่อตะกอน

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัด ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่ต่างกัน ผลการทดลอง พบว่า การกรองด้วยอัตราการกรองที่ 41 ล./ม.^{2}-นาที ซึ่งเป็นอัตราการกรองต่ำสุด โดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ได้ดีที่สุด ทั้งการทดลองกับน้ำซักผ้าและน้ำรวม นอกจากนี้ยังพบว่า อายุการใช้งานของสารกรองทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์ จะมีอายุการใช้งานนานที่สุด มีค่าการสูญเสียความดันต่ำสุด ซึ่งจะเห็นได้ว่า กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเคมีและฟิสิกส์ โดยมีสารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ เป็นสารก่อตะกอนและช่วยก่อตะกอน ร่วมกับการกรองโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง สามารถบำบัดน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดให้มีคุณภาพน้ำดีขึ้นได้

Thesis Title	Treatment of Laundry Wastewater
Author	Mr. Warayut Wannawilai
Major Program	Environmental Management
Academic Year	1998

Abstract

Laundry wastewater contains with various pollutants originated from the cloth's dirty and detergents added in the washing process. This study illustrated characteristics of laundry wastewater from laundry shops, laundry sector of hospitals, laundry sector of hotel and laundry factory located in Hatyai district, Songkhla province. The characteristics of laundry wastewater from the first washing step and the total wastewater obtained from washing and rinsing processes were analyzed. The results showed that pH of cloth washing wastewater were 8.76-10.25. Turbidity ranged from 82-260 NTU. The concentrations of suspended solids, BOD_5, COD and total phosphorus were determined to be 100-323 mg/l, 184-492 mg/l, 376-993 mg/l and 14.17-19.88 mg/l, respectively. For wastewater obtained from washing and rinsing processes, pH value ranged from 7.25 to 9.0 and the range of turbidity concentration were 55-210 NTU. The concentrations of suspended solids, BOD_5, COD and total phosphorus were determined to be 47-115 mg/l, 116-346 mg/l, 197-615 mg/l and 9.01-16.67 mg/l, respectively.

The experiment testing with Jar Test was examined in order to obtain the optimum dose of coagulants. The results implied that using alum together with anionic polymer gave the better efficiency of coagulation. Testing with cloth washing wastewater, the percent removal of turbidity, SS and COD were found to be 96.7 %, 94.7 % and 76.4 % respectively. When total laundry wastewater were tested, 95.4 %, 96.7 % and 76.1 % of turbidity, SS and COD removals were observed. Small scale experiments with the process of coagulation, sedimentation and filtration were examined to treat laundry wastewater. The experiment were conducted with 2 types of wastewater, namely the first washing wastewater and the mixed laundry wastewater from washing and rinsing

processes. The different filtration rates and different type of filter medias were examined with using alum and anionic polymer as coagulants. The quality of treated wastewater were analyzed in order to investigate the treatment efficiency of the system.

The results shown that treatment of two types of laundry wastewater with the lowest filtration rate in dual filter media of sand and antrasite gave the highest treatment efficiency. In addition, life time of dual filter media using (sand and antrasite) was found to be longest and the lowest head loss was observed. In the conclusion, it could summary that physical – chemical treatment process of laundry wastewater by utilizing alum and anionic polymer as coagulants and connected with dual filtration unit of sand and antrasite can give a satisfied results of laundry wastewater treatment.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ การตรวจและแก้ไขข้อบกพร่องจาก ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชวง ภัควัตชัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ คณะกรรมการสอบที่กรุณาสละเวลาในการสอบ พร้อมให้คำเสนอแนะ และแก้ไขข้อบกพร่อง จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ถูกต้องยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดนุพล ตันนโอภาส และดร.เล็ก สีคง ที่กรุณาให้ยืมมอร์เตอร์กวนน้ำ

ขอขอบคุณร้านแฮปปี้ซักอบรีด โรงแรมลีการ์เดนท์ โรงงานทักษิณซักรีดและร้านซักรีดโดยทั่วไปต่างๆ ที่ได้ให้ข้อมูลในการสัมภาษณ์และอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ห้องปฏิบัติการคอนกรีต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะการจัดการสิ่งแวดล้อมที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือ ตลอดจนคำแนะนำในการวิเคราะห์ตัวอย่างและขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่มีน้ำใจทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้มาด้วยดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้งบประมาณในการทำวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ น้อง และคุณสิริรัตน์ เฮงวัฒนา สำหรับกำลังใจที่มีให้กันมาโดยตลอด ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผลประโยชน์และความดีที่จะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้ " คุณแม่ " ครับ

วรายุส วรรณวิไล

สารบาญ

หน้า

บทคัดย่อ.....(3)
Abstract.....(5)
กิตติกรรมประกาศ.....(7)
สารบาญ.....(8)
รายการตาราง.....(11)
รายการภาพประกอบ.....(14)
รายการตารางผนวก.....(18)
ตัวย่อและสัญลักษณ์.....(20)
บทที่
1. บทนำ.....1
บทนำต้นเรื่อง.....1
การตรวจเอกสาร.....3
วัตถุประสงค์.....22
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....22
ขอบเขตการวิจัย.....23
2. วิธีการวิจัย.....24
วัสดุ.....24
อุปกรณ์.....24
วิธีดำเนินการวิจัย.....28
3. ผลการวิจัย.....34
ผลการศึกษาปริมาณและลักษณะสิ่งเจือปนต่างๆ ในน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด.....34
ผลการศึกษาลักษณะและวิธีดำเนินการซักรีดในแต่ละกิจกรรมซักรีด.....34
ผลการวิเคราะห์ปริมาณและลักษณะทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของน้ำเสีย.....42
จากกิจกรรมซักรีดประเภทต่างๆ
ผลการศึกษาหาวิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียซึ่งเกิดจากจากกิจกรรมซักรีด.....44
ด้วยวิธีบำบัดทางฟิสิกส์-เคมี

บทที่ หน้า

ผลการศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อตะกอนที่เหมาะสมโดยวิธีจาร์เทสต์.....44

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ.....79

4. บทวิจารณ์.....105

ปริมาณและลักษณะสิ่งเจือปนต่างๆ ในน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด.....105

ลักษณะโดยรวมของกิจกรรมซักรีด.....105

ลักษณะทางกายภาพและชีวภาพของน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด.....106
ประเภทต่างๆ

การศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อตะกอนที่เหมาะสมโดยวิธีจาร์เทสต์.....108

การศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อตะกอนที่เหมาะสมเพียงชนิดเดียว.....108

การศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อตะกอนที่เหมาะสมร่วมกับสารช่วย.....110
ในการก่อตะกอน

การศึกษาค่าพีเอชที่มีอิทธิพลต่อการก่อตะกอนของสารส้ม.....112

ผลการทดลองของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ.....112

การประเมินศักยภาพการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำไปใช้งาน.....115

ค่าสารเคมีและค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่สามารถประเมินได้.....115

ความเป็นไปได้และความยากง่ายในการนำระบบบำบัดน้ำเสียโดย.....117
วิธีทางเคมี-ฟิสิกส์ไปใช้งาน

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....120

บทสรุป.....120

ชนิดและปริมาณสารก่อตะกอนที่ช่วยในการก่อตะกอนและตกตะกอนได้ดีที่สุด.....120
จากการทดลองจาร์เทสต์

ปริมาณสารก่อตะกอนและสารช่วยก่อตะกอนที่ทำให้เกิดการก่อตะกอน.....120
และตกตะกอนได้ดีที่สุดจากการทดลองจาร์เทสต์

การทดลองระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ.....120

ข้อเสนอแนะ.....122

บรรณานุกรม.....124

สารบาญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

ภาคผนวก.....130

ประวัติผู้เขียน.....171

รายการตาราง

ตาราง หน้า

1. การเปรียบเทียบลักษณะน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดในธุรกิจซักรีดและซักรีดในชุมชน.....5
2. ตัวแปรคุณภาพน้ำและวิธีวิเคราะห์.....29
3. เงื่อนไขในการควบคุมการทดลองกระบวนการโคแอกกูเลชั่น โดยใช้เครื่องมือจาร์เทสต์.....30
4. ข้อมูลในการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง.....32
5. ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันและต่อผ้า 1 กก. ของกิจกรรมซักรีดแต่ละประเภท.....42
6. ลักษณะทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดประเภทต่างๆ.....43
7. คุณภาพน้ำซักผ้าจากการทดลองจาร์เทสต์ เมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอน.....46
8. คุณภาพน้ำซักผ้าจากการทดลองจาร์เทสต์ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวก.....47
   เป็นสารก่อตะกอน
9. ประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุลบ.....49
   เป็นสารก่อตะกอนในน้ำซักผ้า จากการทดลองจาร์เทสต์
10. คุณภาพน้ำรวมเมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนในปริมาณต่างๆ.....51
    จากการทดลองจาร์เทสต์
11. คุณภาพน้ำรวมจากการทดลองจาร์เทสต์ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวก.....52
    เป็นสารก่อตะกอน
12. ประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุลบ.....54
    เป็นสารก่อตะกอนในน้ำรวม จากการทดลองจาร์เทสต์
13. คุณภาพน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารส้มร่วมกับเกาลินเป็นสารก่อตะกอนและช่วย.....56
    ก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์
14. คุณภาพน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ.....57
    ร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนการทดลองจาร์เทสต์
15. คุณภาพน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ.....60
    5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์
16. คุณภาพน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ ร่วมกับ.....61
    สารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

17. คุณภาพน้ำรวมเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. 65
เป็นสารก่อตะกอน จากการทดลองจาร์เทสต์
18. คุณภาพน้ำรวมเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ ร่วมกับเกาลิน.....66
200 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์
19. คุณภาพน้ำรวมเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. 69
เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์
20. คุณภาพน้ำรวมเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ ร่วมกับ.....70
สารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์
21. ประสิทธิภาพของสารส้ม 500 มก./ล. ในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำซักผ้า.....73
ภายใต้การปรับพีเอชของน้ำเสียและที่พีเอชเดิมของน้ำเสียดิบ
22. ประสิทธิภาพของสารส้ม 300 มก./ล.ในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำรวม.....76
ภายใต้การปรับพีเอชของน้ำเสียและที่พีเอชเดิมของน้ำเสียดิบ
23. คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีถ่านแอนทราไซท์ 81
เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที
24. คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายเป็นสารกรอง.....81
ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที
25. คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายร่วมกับ.....82
ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที
26. คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีถ่านแอนทราไซท์.....83
เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
27. คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายเป็นสารกรอง.....84
ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
28. คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายร่วมกับ.....84
ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
29. คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายร่วมกับ.....86
ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 81 ล./ม.^{2}-นาที

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

30. ร้อยละของประสิทธิภาพเมื่อใช้ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง.....86
ในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำซักผ้า ที่อัตราการกรอง 81 ล./ม.^{2}-นาที
31. การสูญเสียความดันของสารกรองแต่ละชนิดในน้ำซักผ้าที่อัตราการกรองต่างๆ.....90
โดยพิจารณาจากระดับความสูงของน้ำในสายยาง (ซม.) ระหว่างชั่วโมงที่ 1-4
32. การสูญเสียความดันของสารกรองแต่ละชนิดในน้ำซักผ้าที่อัตราการกรองต่างๆ.....90
โดยพิจารณาจากอัตราการไหลของน้ำที่ออกจากถังกรอง (ล./นาที) ระหว่างชั่วโมงที่ 1-4
33. คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีถ่านแอนทราไซท์.....91
เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที
34. คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายเป็นสารกรอง.....92
ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที
35. คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายร่วมกับ.....92
ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที
36. คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีถ่านแอนทราไซท์.....94
เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
37. คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายเป็นสารกรอง.....94
ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
38. คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายร่วมกับ.....95
ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
39. คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายร่วมกับ.....96
ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองที่อัตราการกรอง 81 ล./ม.^{2}-นาที
40. ประสิทธิภาพของทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์ในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ.....97
ในน้ำรวม ที่อัตราการกรอง 81 ล./ม.^{2}-นาที
41. การสูญเสียความดันของสารกรองแต่ละชนิดในน้ำรวม ที่อัตราการกรองต่างๆ.....100
โดยพิจารณาจากระดับความสูงของน้ำในสายยาง (ซม.) ระหว่างชั่วโมงที่ 1-4
42. การสูญเสียความดันของสารกรองแต่ละชนิดในน้ำรวม ที่อัตราการกรองต่างๆ.....100
โดยพิจารณาจากอัตราการไหลของน้ำที่ออกจากถังกรอง (ล./นาที) ระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ หน้า

1. แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ.....12
2. ส่วนประกอบของกระบวนการโคแอกกูเลชั่น.....14
3. กลไกในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำเข้าหาสารกรอง.....18
4. ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยขึ้นอยู่กับขนาด.....19
5. กลไกของการกรองน้ำในเครื่องกรองแบบทรายกรองเร็ว.....20
6. แสดงรายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ.....25
7. ลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ.....26
8. แอนทราไซท์และทรายกรองที่ใช้ในการทดลอง.....27
9. รายละเอียดขั้นตอนของกระบวนการซักรีดในกิจกรรมซักรีดแต่ละประเภท (ก.-ง.).....36
10. กระบวนการซักรีดของร้านซักรีดในมหาวิทยาลัยฯ.....37
11. กระบวนการซักรีดในโรงพยาบาลหาดใหญ่.....38
12. กระบวนการซักรีดของกิจกรรมซักรีดในโรงแรมลีการ์เดนท์.....39
13. กระบวนการซักรีดของโรงงานทักษิณซักรีด.....40
14. ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนในน้ำซักผ้าจากการทดลองจาร์เทสต์ 46
15. ลักษณะน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์ 47
16. ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารก่อตะกอนในน้ำซักผ้า จากการทดลองจาร์เทสต์ 48
17. ลักษณะน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์ 48
18. ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำเมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนในน้ำรวมจากการทดลองจาร์เทสต์ 51
19. ลักษณะน้ำรวมเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์ 52

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

20. ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำเมื่อใช้สารโพลิเมอร์.....53
ประจุบวกเป็นสารก่อตะกอนในน้ำรวม จากการทดลองจาร์เทสต์
21. ลักษณะน้ำรวมเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอน.....53
จากการทดลองจาร์เทสต์
22. ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารส้มร่วมกับเกาลิน.....56
200 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนในน้ำซักผ้า จากการทดลองจาร์เทสต์
23. ลักษณะน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับเกาลิน.....57
200 มก./ล. จากการทดลองจาร์เทสต์
24. ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวก.....58
ในปริมาณต่างๆ ร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนในน้ำซักผ้า
25. ลักษณะน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอน.....58
ร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. จากการทดลองจาร์เทสต์
26. ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ.....60
ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนในน้ำซักผ้า จากการทดลอง
จาร์เทสต์
27. ลักษณะน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับ.....61
สารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. จากการทดลองจาร์เทสต์
28. ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวก.....62
ในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนในน้ำซักผ้า
29. ลักษณะน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอน.....62
ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. จากการทดลองจาร์เทสต์
30. ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของสารก่อตะกอน.....63
ในปริมาณที่เหมาะสมร่วมกับสารช่วยก่อตะกอนแต่ละชนิดในน้ำซักผ้า
31. ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารส้มในปริมาณ.....65
ต่างๆ ร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล.เป็นสารก่อตะกอนในน้ำรวม

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

32. ลักษณะน้ำรวมเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับเกาลิน.....66
200 มก./ล.
33. ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุ.....67
บวกในปริมาณต่างๆ ร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนในน้ำรวม
34. ลักษณะน้ำรวมเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอน.....67
ร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. จากการทดลองจาร์เทสต์
35. ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารส้ม.....69
ในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล.เป็นสารก่อตะกอน
ในน้ำรวมจากการทดลองจาร์เทสต์
36. ลักษณะน้ำรวมเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับ.....70
สารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. จากการทดลองจาร์เทสต์
37. ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุ.....71
บวกในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล.เป็นสารก่อตะกอน
ในน้ำรวม จากการทดลองจาร์เทสต์
38. ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของสารก่อตะกอน.....72
ในปริมาณที่เหมาะสมร่วมกับสารช่วยก่อตะกอนแต่ละชนิดในน้ำรวม
39. ร้อยละของประสิทธิภาพในการุลดค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยจากน้ำซักผ้า.....74
ในตัวอย่างน้ำเสียที่มีการปรับค่าพีเอชแตกต่างกัน
40. ลักษณะน้ำเสียจากการทดลองการก่อตะกอนของปริมาณสารส้ม 500 มก./ล. 74
ในน้ำซักผ้าด้วยวิธีจาร์เทสต์ โดยมีการปรับพีเอชของน้ำเสียตัวอย่าง
41. ลักษณะน้ำเสียจากการทดลองการก่อตะกอนในน้ำซักผ้าด้วยวิธีจาร์เทสต์ ที่ปริมาณ.....75
สารส้ม 500 และ 1,000 มก./ล. โดยไม่มีการปรับพีเอชของน้ำเสียตัวอย่าง
42. ร้อยละของประสิทธิภาพของการลดค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยใน.....77
น้ำเสียรวมที่พีเอชแตกต่างกันของน้ำเสียตัวอย่าง
43. ลักษณะน้ำเสียจากการทดลองการก่อตะกอนในน้ำรวมด้วยวิธีจาร์เทสต์.....77
ที่ปริมาณสารส้ม 300 มก./ล. โดยมีการปรับพีเอชของน้ำเสียตัวอย่าง

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

44. ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปร.....82
คุณภาพน้ำในน้ำซักผ้าของสารกรองแต่ละชนิด ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที
45. ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดของค่าตัวแปร.....85
คุณภาพน้ำในน้ำซักผ้าของสารกรองแต่ละชนิดที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
46. ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปร.....87
คุณภาพน้ำในน้ำซักผ้าเมื่อใช้ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตรา
การกรองแตกต่างกัน
47. ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปร.....88
คุณภาพน้ำในน้ำซักผ้าเมื่อใช้ทรายเป็นสารกรอง ที่อัตราการกรองแตกต่างกัน
48. ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปร.....88
คุณภาพน้ำในน้ำซักผ้าเมื่อใช้ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรองแตกต่างกัน
49. ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปร.....93
คุณภาพน้ำในน้ำรวมของสารกรองแต่ละชนิดที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที
50. ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปร.....95
คุณภาพน้ำในน้ำรวมเมื่อใช้สารกรองแต่ละชนิด ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
51. ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปร.....98
คุณภาพน้ำในน้ำรวมเมื่อใช้ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองที่อัตรา
การกรองแตกต่างกัน
52. ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปร.....98
คุณภาพน้ำในน้ำรวมเมื่อใช้ทรายเป็นสารกรอง ที่อัตราการกรองแตกต่างกัน
53. ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปร.....99
คุณภาพน้ำในน้ำรวมเมื่อใช้ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรองแตกต่างกัน
54. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียในการลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย.....103
และซีโอดี เมื่อสลับน้ำเสียแต่ละชนิดผ่านเข้าสู่ระบบทุก 15 นาที

รายการตารางผนวก

ตารางผนวก หน้า

1. ผลการทดลองหาค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวของตะกอน.....131
ในน้ำซักผ้าจากการทดลองจาร์เทสต์ โดยมีสารส้มในปริมาณต่างๆเป็นสารก่อตะกอน
2. ผลการทดลองหาค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวของตะกอน.....131
ในน้ำซักผ้าจากการทดลองจาร์เทสต์ โดยมีสารส้มในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสาร
โพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอน
3. ผลการทดลองหาค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวของตะกอน.....132
ในน้ำรวมจากการทดลองจาร์เทสต์ โดยมีสารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอน
4. ผลการทดลองหาค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวของตะกอน.....132
ในน้ำรวมจากการทดลองจาร์เทสต์ โดยมีสารส้มในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารโพลิเมอร์
ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอน
5. คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง.....133
ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที
6. คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายเป็นสารกรอง.....134
ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที
7. คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายร่วมกับ.....135
ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที
8. คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีถ่านแอนทราไซท์.....136
เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
9. คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายเป็นสารกรอง.....137
ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
10. คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายร่วมกับ.....138
ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
11. คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายร่วมกับ.....139
ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 81 ล./ม.^{2}-นาที
12. คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีถ่านแอนทราไซท์.....140
เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก หน้า

13. คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายเป็นสารกรอง.....141
ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที
14. คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายร่วมกับ.....142
ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที
15. คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีถ่านแอนทราไซท์.....143
เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
16. คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายเป็นสารกรอง.....144
ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
17. คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายร่วมกับ.....145
ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
18. คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายร่วมกับ.....146
ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 81 ล./ม.^{2}-นาที
19. คุณภาพน้ำเสียจากขั้นตอนการซักและล้างผ้าที่สลับกันผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง.....147
โดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที
20. ผลการวิเคราะห์น้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีดประเภทต่างๆ.....148
21. ค่าของแข็งของตะกอนจากการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าในถังตกตะกอน.....149
ที่อัตราน้ำเข้า 122, 81 และ 41 ล./ม.^{2}-นาที
22. ค่าของแข็งของตะกอนจากการทดลองโดยใช้น้ำรวมในถังตกตะกอน.....149
ที่อัตราน้ำเข้า 122, 81 และ 41 ล./ม.^{2}-นาที
23. ช่วงของค่าบีโอดีที่วัดได้ตามค่าเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง.....155
24. น้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำยาเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่างต่างๆ.....159
25. การเลือกขนาดตัวอย่างน้ำสำหรับการวิเคราะห์สารลดแรงตึงผิว.....162
26. ผลการวิเคราะห์ขนาดของทรายกรองด้วยตะแกรง.....168
27. ผลการวิเคราะห์ขนาดของถ่านแอนทราไซท์ด้วยตะแกรง.....168

ตัวย่อและสัญลักษณ์

BOD_5 = (Biochemical Oxygen Demand) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนที่อุณหภูมิ 20 °ซ เป็นเวลา 5 วัน

COD = (Chemical Oxygen Demand) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดสามารถถูกออกซิไดซ์ โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด

pH = พีเอช หมายถึง ค่าลอการิทึมของส่วนกลับของความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนต่อสารละลาย 1 ลิตร

SS = (Suspended Solids) หมายถึง ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ และสามารถกรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (Whatman GF/C) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

TDS = (Total Dissolve Solids) หมายถึง ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งเมื่อทำการหาของแข็งแขวนลอยน้ำใสที่ผ่านการกรองสามารถนำไปหาปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

TKN = (Total Kjeldahl Nitrogen) หมายถึง ผลของปริมาณอินทรีย์สารไนโตรเจน สามารถหาได้โดยการทำลายส่วนที่เป็นอินทรีย์ของโมเลกุลโดยการออกซิไดซ์ทำให้ไนโตรเจนหลุดออกมาในรูปของแอมโมเนีย มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

TP = (Total Phosphorus) หมายถึง ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด สามารถหาได้โดยการเปลี่ยนฟอสฟอรัสทั้งหมดให้อยู่ในรูปของออโะฟอสเฟต มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

JTU = (Jackson Turbidity Unit) หมายถึง หน่วยของการวัดค่าความขุ่น โดยวิธีเปรียบเทียบด้วยตา

NTU = (Nephelometric Turbidity Unit) หมายถึง หน่วยของการวัดค่าความขุ่น โดยวิธีเปรียบเทียบความเข้มของแสงที่กระจัดกระจายของตัวอย่างน้ำกับสารละลายมาตรฐาน ภายใต้สภาวะต่างๆ ที่เหมือนกัน โดยความเข้มของแสงที่กระจัดกระจายมากเท่าไรก็จะมีค่าความขุ่นมากขึ้นเท่านั้น

พีพีเอ็ม = ส่วนในล้านส่วน

กก. = กิโลกรัม

กก./วัน = กิโลกรัมต่อวัน

มก./ล. = มิลลิกรัมต่อลิตร

ลบ.ม./วัน = ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ชม. = ชั่วโมง

°ซ = องศาเซนเซียล

°ฟ = องศาฟาเรนไฮต์

ซม^3/นาที = ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

ล./ม.^{2}-นาที = ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ในปัจจุบันประเทศไทยได้พัฒนาเศรษฐกิจจนทำให้ประเทศเจริญรุดหน้า มีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการขยายตัวของเมืองตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะการใช้น้ำของคนในเขตเมืองจะใช้น้ำมากกว่าคนในชนบท โดยที่คนในชนบทจะใช้น้ำเฉลี่ยวันละ 50 ลิตรต่อคนต่อวัน คนในเขตเมือง เช่น คนกรุงเทพฯ ใช้น้ำเฉลี่ยวันละ 200 ลิตรต่อคนต่อวัน มากกว่าคนในชนบทถึง 4 เท่า (มูลนิธิโลกสีเขียวและบริษัทบุญรอดบริวเวอรี่, ม.ป.ป. : 15) ซึ่งการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นไม่ว่าจากกิจกรรมใดๆ ของคนเรา ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณน้ำเสียเพิ่มขึ้น ปัจจัยหนึ่งของการใช้น้ำในปริมาณที่เพิ่มขึ้นของคนในเขตเมือง อาจเกิดจากคนในเมืองมีภาวะเศรษฐกิจและความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น ทำให้วิถีชีวิตประจำวันอันเกี่ยวกับการใช้น้ำของคนในบางครอบครัวเปลี่ยนแปลงไป เช่น การที่บางครอบครัวหันมาใช้ส้วมชักโครกแทนส้วมราดน้ำแบบเก่า ใช้อ่างอาบน้ำแทนการใช้ฝักบัว การใช้เครื่องซักผ้าแทนการซักผ้าด้วยมือ ซึ่งก็ล้วนเป็นสาเหตุของการเพิ่มปริมาณน้ำเสียชุมชนอีกทางหนึ่ง และจากสภาวะเศรษฐกิจที่สูงอย่างที่เป็นอยู่ จึงทำให้สภาพสังคมในครอบครัวเปลี่ยนแปลงไป คนในครอบครัวทั้งผู้ชายและผู้หญิงต้องช่วยกันทำงานเพื่อหาเงินเลี้ยงชีพ โดยอาจจะออกไปทำงานนอกบ้านหรือประกอบกิจการค้าภายในครัวเรือน จนทำให้ไม่มีเวลาในการปฏิบัติงานบ้านมากนัก จึงทำให้มีกิจกรรมภายในบ้านซึ่งเกี่ยวกับการทำความสะอาดเสื้อผ้า ต้องหันมาใช้บริการซักรีดจากร้านบริการซักรีดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้บริการทำความสะอาดเสื้อผ้าด้วยเครื่องซักผ้าหรือด้วยมือก็ตาม ต่างก็ได้รับความนิยมและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มจำนวนของร้านบริการซักรีดเพิ่มขึ้นในอนาคต นอกจากการให้บริการซักรีดจากร้านบริการซักรีดแล้วในโรงแรมต่างๆ ยังมีกิจกรรมซักรีดให้บริการกับแขกผู้มาพักด้วย รวมไปถึงโรงพยาบาลต่างๆ ต่างก็มีกิจกรรมซักรีดเป็นของตนเอง

การดำเนินธุรกิจในด้านซักรีดนับเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรืออุตสาหกรรมในครัวเรือนที่ต้องใช้น้ำในกระบวนการทำความสะอาดเป็นจำนวนมาก ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้กับเครื่องซักผ้าในแต่ละครั้ง ประมาณว่าสูงถึง 110 - 200 ลิตรต่อครั้งที่เดียว (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539 : 27)

และน้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์เหล่านี้ก็จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสีย โดยจะพบสารปนเปื้อน ซึ่งได้แก่ สารอินทรีย์ในปริมาณสูง สารปนเปื้อนในรูปของสารซักฟอก สารแขวนลอย สารประกอบไนโตรเจน สารประกอบฟอสฟอรัส น้ำมันและไขมัน และอื่นๆ ในเรื่องของสารฟอสฟอรัสนั้น จะมีส่วนช่วยในการเกิดปรากฏการณ์สาหร่ายเบ่งบาน (Algae Bloom) หรือปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication) ซึ่ง Jone (1972:505) ได้กล่าวถึงปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น ว่าเกิดจากแหล่งน้ำได้รับธาตุอาหารมากเกินไป โดยเฉพาะฟอสเฟตพืชน้ำจะเจริญเติบโตได้อย่างมากมายเมื่อพืชตายและเน่าเปื่อย ทำให้เกิดการย่อยสลายจากพวกแบคทีเรียทำให้น้ำขาดออกซิเจน และมีกลิ่นเหม็นไม่สามารถนำน้ำมาใช้ได้ และยังมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำอีกด้วย เมื่อพืชน้ำและสัตว์น้ำตายทับถมรวมกันมากขึ้น ก็จะให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ซึ่งถ้าแหล่งน้ำที่มีปริมาณฟอสเฟตมากกว่า 0.01 มก/ล. จัดว่าเป็น Eutrophication Lake (Pavoni, 1977 : 275) ในขณะที่น้ำทิ้งจากบ้านเรือนจะมีฟอสเฟตอยู่ระหว่าง 20 - 40 มก./ล. (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2538 : 66) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำเสียจากกระบวนการซักรีดจะมีความขุ่นค่อนข้างสูง มีความเป็นด่างและจะมีความสกปรกค่อนข้างสูงเช่นกัน โดยมีค่าบีโอดี 400-1,000 มก./ล. (Nemerow, 1978 : 349) ซึ่งจะมีค่าของความสกปรกในรูปของบีโอดี สูงกว่าน้ำเสียชุมชน 2-5 เท่า โดยที่น้ำเสียชุมชนจะมีค่าบีโอดีประมาณ 200 มก./ล. (สมใจ กาญจนวงศ์, 2532 : 17) และน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดเมื่อลงสู่แหล่งน้ำลำคลอง อาจเกิดฟองจากสารซักฟอกบริเวณผิวบนของแหล่งน้ำ ทำให้ไม่สามารถเกิดการย่อยสลายทางชีวเคมีได้ง่าย ด้วยเหตุนี้การให้บริการซักรีดเสื้อผ้า จึงเป็นธุรกิจอย่างหนึ่งที่จะก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณมากและส่งผลให้เกิดมลพิษทางน้ำได้ ซึ่งในปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียก่อนขั้นต้น (Preliminary Treatment) ซึ่งเป็นระบบอย่างง่าย ที่มีในบ้านเรือนหรือร้านบริการซักรีด (Onsite - Treatment) นั้นจะเป็นระบบที่ใช้ตะแกรงดักขยะและถังดักตะกอนหนัก ซึ่งก็เพียงแต่ดักพวกเศษขยะชิ้นใหญ่ๆ และพวกกรวดทราย ไม่สามารถที่จะบำบัดพวกสารปนเปื้อนต่างๆ ที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยหรือสารละลายของน้ำเสียได้

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้ให้ความสนใจและให้ความสำคัญในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปริมาณ รวมทั้งลักษณะของน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมซักรีดจากสถานที่ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นร้านบริการซักรีด โรงแรม โรงพยาบาล ตลอดจนศึกษาและพัฒนาวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด ด้วยวิธีการบำบัดทางฟิสิกส์ - เคมี เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ในน้ำเสียให้ลดลง หรือบำบัดให้น้ำมีคุณภาพที่ดีพอ ก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ โดยไม่ทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำเสื่อมสภาพลงและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วอาจนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก ซึ่งจะเป็นการประหยัดน้ำอีกทางหนึ่ง

การตรวจเอกสาร

1 กิจกรรมซักรีด

1.1. เคมีที่ใช้ในการซักผ้า

เคมีสำหรับซักผ้าและขจัดสิ่งสกปรกเป็นเคมีที่ช่วยขจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่กับเนื้อผ้า ขจัดคราบฝังในออกหมดสามารถลดแรงตึงผิวของน้ำ ทำให้ตัวเคมีซึมไปในเนื้อผ้าได้เร็ว สามารถป้องกันการตกตะกอนของสารบางชนิด อาจจะทำขึ้นมาพิเศษคืออาจมีสารฟอกขาว อยู่ในตัวด้วยซึ่งใช้กับผ้าทุกชนิด เคมีที่ใช้ในการซักฟอกมีมากมายหลายชนิดให้เลือกใช้ทั้งผงซักฟอก น้ำยาซักผ้า สารซักฟอกสูตรเข้มข้นและสารซักฟอกชนิดผสมน้ำยาปรับผ้านุ่มในตัว ซึ่งเคมีที่ใช้ในการซักฟอกที่เป็นที่นิยมใช้ คือ ผงซักฟอกจึงจะขอกล่าวถึงประเภทของผงซักฟอก ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามสมบัติของสารลดแรงตึง คือ

- Hard Detergent ผงซักฟอกชนิดนี้จะสลายได้ช้าในธรรมชาติ และสารลดแรงตึงผิวเป็นพวก BAS (Branch Alkyl Benzene Sulfonate) หรือ ABS (Alkyl Benzene Sulfonate)

- Soft Detergent ผงซักฟอกชนิดนี้สามารถถูกย่อยสลายได้เร็วโดยแบคทีเรียในธรรมชาติทำให้เกิดการตกค้างในธรรมชาติมีน้อย และเชื่อว่าจะไม่ทำให้เกิดผลเสียหายต่อสภาพแวดล้อม สารลดแรงตึงผิวเป็นพวก LAS (Linear Alkyl Benzene Sulfonate)

ส่วนประกอบของสารซักฟอก (มณฑิพย์ ศรีรัตนา ทาบูกานอนและผกา อุดมนิธิกุล, 2532 : 1-2) ได้แก่

1. สารลดแรงตึงผิว หรือ Surface Active Agents ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวของน้ำ สารตัวนี้จะให้ฟอง ให้สิ่งสกปรกและพื้นผิวเปียกน้ำ ดึงสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิว ช่วยให้น้ำมันแขวนลอยและช่วยกระจายสิ่งสกปรกให้อยู่ในน้ำ สารประเภทนี้ที่นิยมกันมากได้แก่ ABS (Alkyl Benzene Sulfonate) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของ Hard Detergent และ LAS (Linear Alkyl Benzene Sulfonate) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของ Soft Detergent

2. Builder เป็นสารประกอบของฟอสเฟต ที่นิยมกันมากคือ Sodium Tripyrophosphate และ Sodium Pyrophosphate ซึ่งช่วยย่อยกระจายน้ำมัน แร่ธาตุ ให้กระจายเป็นหยดเล็กๆ จนสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ช่วยให้สิ่งสกปรกไม่ละลายกระจายตัว และปรับสภาพน้ำกระด้างให้กลายเป็นน้ำอ่อน นอกจากนั้นสารประเภทซิลิเกต (Silicates) ช่วยให้สิ่งสกปรกกระจายตัวป้องกันการกลับเข้าไปจับใหม่ของสิ่งสกปรกที่ถูกขจัดออกและป้องกันการกัดกร่อนของโลหะที่ใช้เป็นภาชนะที่ใช้ในการซัก

3. Suds Regulators เป็นตัวลดและเพิ่มฟองตามความต้องการของงานซักล้าง เช่น Fatty acid

4. Additive เป็นตัวเติมทำให้ผงซักฟอกมีประสิทธิภาพดีขึ้น เช่น สารเพิ่มประกายนวล (Optical Brighteners) สี (Dyes or Pigments) สารเพิ่มฟอง (Foam Boosters) สารลดฟอง (Defoamers) สารช่วยละลาย (Hydrotropes) สารฟอกขาว (Bleaching Agent) เอนไซม์ (Enzyme) สารเฉื่อย (Inert Fillers) น้ำหอม (Perfume)

1.2. เคมีใช้เฉพาะงาน

เป็นเคมีที่ใช้กับผ้าเป็นตัวหรือเป็นชิ้น เพื่อขจัดคราบสกปรกบางอย่างออก เช่น ขจัดจุดน้ำมัน จุดหมึก ขจัดสนิม ขจัดเชื้อรา ยางไม้ ขจัดสีตก

1.3 เครื่องซักผ้า

โดยทั่วไป มีอยู่ 2 ประเภท คือ เครื่องซักผ้าแบบเปิดด้านหน้าและเครื่องซักผ้าแบบเปิดด้านบน เครื่องซักผ้าแบบเปิดด้านหน้าจะมีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องซักผ้าแบบเปิดด้านบนทั้งในด้านการประหยัดน้ำ ผงซักฟอก และประสิทธิภาพในการทำงาน

1.4 ขั้นตอนของการซักผ้าด้วยเครื่อง

การทำความสะอาดผ้าโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ การซักโดยวิธีซักแห้งและการซักด้วยวิธีการซักน้ำ การซักโดยวิธีการซักแห้งจะใช้เฉพาะกับผ้าเนื้อดี เนื้อละเอียด และจำพวกผ้าขนสัตว์ เป็นต้น ส่วนการซักโดยวิธีซักน้ำเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากเพราะใช้กับผ้าเกือบทุกชนิด ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวิธีซักน้ำเพราะใช้กันเป็นส่วนมากขั้นตอนการซักโดยวิธีซักน้ำด้วยเครื่องจะเป็นไปดังนี้ คือ

1. นำผ้าที่ใช้แล้วไปชั่งตามน้ำหนักขีดความสามารถของเครื่องซัก เพราะเครื่องซักแต่ละแบบมีขีดความสามารถในการซักไม่เท่ากัน

2. นำผ้าที่ชั่งแล้วเข้าทำการซักในเครื่องซัก-สลัดผ้า ในการซัก-สลัดผ้า 1 วงจร ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ ขั้นตอนการซัก ขั้นตอนการล้างเคมีออกและขั้นตอนการสลัดผ้าให้แห้ง ขั้นตอนแต่ละอย่างอาจจะมีหลายขั้นตอนในการซัก 1 รอบก็ได้ เช่น ขั้นตอนการปล่อยน้ำทิ้งไป ขั้นตอนการล้างอาจจะล้างหลายครั้ง การเลือกหรือคิดประกอบขั้นตอนต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อใช้ในการซัก 1 รอบนี้ จุดประสงค์ก็เพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของผ้า

3. นำผ้าที่ซัก-สลัดเสร็จแล้วไปเข้าเครื่องอบผ้า โดยปกติผ้าที่ออกมาจากเครื่องจะสลัดน้ำไปประมาณ 90 % การอบผ้าใช้หลักการเอาความร้อนเข้าไปเพื่อให้ความชื้นที่ยังมีอยู่ในผ้ากลายเป็นไอเพื่อให้ผ้าแห้ง 100 % ความร้อนที่ใช้ในการอบผ้าในปัจจุบันใช้จาก 3 ทาง คือ ความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้า ความร้อนจากการเผาแก๊ส (แก๊สหุงต้ม) และความร้อนจากไอน้ำของหม้ออบไอน้ำ

เวลาที่ใช้ในการอบผ้าจะขึ้นอยู่กับความหนาของผ้าซึ่งโดยปกติจะใช้เวลาประมาณ 50 นาที

4. ผ้าที่อบแห้งจะนำมารีดให้เรียบโดยใช้เครื่องรีด เช่น ที่รีดเสื้อจะมีที่รีดไหล่เสื้อ ที่รีดแขนเสื้อ ที่รีดปกเสื้อ เป็นต้น อย่างที่รีดกางเกงก็จะมีที่รีดสะโพก รีดขากางเกง ส่วนที่รีดผ้าจำพวกเป็นผืนเรียบอย่างผ้าปูที่นอน ผ้าปูโต๊ะ ก็จะเป็นแบบลูกกลิ้งมีขนาดตั้งแต่กว้างหนึ่งเมตรกว่าถึงสามเมตรกว่า ซึ่งจะทำให้งานรีดผ้าที่เป็นผืนเรียบเป็นไปอย่างรวดเร็ว ในการรีดผ้าปูที่นอน บางแห่งจะนำผ้าที่ออกมาจากเครื่องซัก-สลัดผ้าเข้าเครื่องรีดแบบลูกกลิ้งเลยไม่ต้องผ่านการอบ เพราะผ้าที่ออกจากเครื่องสลัดจะแห้งไป 90 % หรือเรียกว่าเปียกแบบหมาดๆ ความร้อนจากลูกกลิ้งจะทำให้ผ้าแห้งในขณะรีดไปในตัว เมื่อรีดผ้าเสร็จแล้วก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการพับแล้วคืนผ้าให้ลูกค้าต่อไป

1.5 ลักษณะน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด

Nemerow (1978 : 349-350) ได้อ้างถึงการศึกษาของ Rudolfs ในปี ค.ศ. 1953 ซึ่งทำการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด ระหว่างกิจกรรมซักรีดของธุรกิจซักรีดและการซักรีดของชุมชน ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 การเปรียบเทียบลักษณะน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดในธุรกิจการซักรีดและซักรีดในชุมชน

ตัวแปรคุณภาพน้ำ	ธุรกิจซักรีดขนาดใหญ่	ซักรีดในชุมชน
pH	10.3	8.1
Total alkalinity, ppm	511	678
Total Solids, ppm	2,114	3,314
Volatile solids, ppm	1,538	2,515
BOD_5, ppm	1,860	3,813
Grease, ppm	554	1,406

ที่มา: Nemerow (1978:350)

นอกจากนี้ Nemerow (1978 : 350) ยังได้อ้างถึงการศึกษาของ Eckenfelder & Barnhart (1960) พบว่าการซักรีดที่มีการติดตั้งเครื่องซักผ้า จำนวน 25 - 30 เครื่อง จะใช้น้ำซักประมาณ 25 - 30 แกลลอนต่อรอบของการซัก โดยที่ 22 แกลลอน จะใช้ในขั้นของน้ำร้อน (140°ฟ) และ 8 แกลลอนจะใช้ในขั้นน้ำเย็น ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของน้ำที่ถูกปล่อยออกมาจะมีอุณหภูมิประมาณ 100°ฟ และมีค่าน้ำเสียถึง 50,000 แกลลอนต่อสัปดาห์ ใช้สารซักฟอก 100 ปอนด์ต่อสัปดาห์ น้ำ

เสียจากกิจกรรมซักรีด จะมีค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 208-300 JTU ค่าซีโอดี 344 - 445 มก./ล. ค่า ABS 50-90 มก./ล. ค่าพีเอช 7.8-8.1 และค่าของแข็งแขวนลอย 140-163 มก./ล.

และอ้างถึงการศึกษาของ U.S. Public Health Service (1950) ซึ่งพบว่า น้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดมีค่าพีเอช 9.0-9.3 ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ที่พีเอช 7 60-250 มก./ ล. as Ca_2CO_3 ของแข็งทั้งหมด 800-1,200 มก./ล. และบีโอดี 400-450 มก./ล.

2. ผลกระทบของน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต

2.1 ผลกระทบต่อแหล่งน้ำ

1. ฟอง (Foam) จากการศึกษาของ Klein (1966 : 53-58) พบว่า การตกค้างของสารลดแรงตึงผิวก่อให้เกิดฟองในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่สวยงาม ขัดขวางการคมนาคมทางน้ำ ลดพื้นที่ของน้ำในการสัมผัสกับอากาศ ทำให้ออกซิเจนละลายน้ำลดลง 20% ซึ่งจะเป็นผลต่อระบบทางเดินหายใจของสัตว์น้ำและพืชน้ำด้วย

2. ทำให้เกิดขบวนการยูโทรฟิเคชั่น อันเนื่องมาจากฟอสเฟต Fair และคณะ (1971 : 752) พบว่า แหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารมากเกินไป จะมีฟอสฟอรัสอยู่ประมาณ 0.01-0.05 มก./ล. โดยในแม่น้ำที่เกิดมลภาวะจะมีฟอสเฟตอยู่ประมาณ 0.6 มก./ล. และน้ำทิ้งจากบ้านเรือนจะมีฟอสเฟตอยู่ระหว่าง 9-10 มก./ล. ขณะที่สารประกอบฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากกว่า 0.015 มก./ล. จะกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ (Metcalf and Eddy, 1991 : 1335) และเมื่อพืชน้ำเจริญเติบโตอย่างมากมายก็จะแย่งอาหารและเน่าตายทับถมกันทำให้ออกซิเจนละลายน้ำลดลง มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำและในที่สุดซากพืชและซากสัตว์ที่ตายก็จะทับถมกลายเป็นดิน

2.2 ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ

Jone (1964 : 203) รายงานว่าสารลดแรงตึงผิว จะทำให้สารพวกโปรตีนตกตะกอนหรือแปรสภาพโดยเฉพาะผงซักฟอกที่มีส่วนประกอบของพวก Pyridine จะเป็นอันตรายต่อระบบประสาทและหายใจของปลา โดยในระดับความเข้มข้นน้อยๆ ประมาณ 10 - 40 มก./ล. ปลาจะเคลื่อนไหวไม่ได้และเสียการทรงตัว และพวกปลาจะมีความต้านทานน้อยกว่าพวก Crustacean และหอยสองฝา เนื่องจากผงซักฟอกจะไปลดแรงตึงผิวของน้ำทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างเหงือกและน้ำไม่ดี (Swedmarch, *et al.*, 1971 : 923-924) นอกจากนี้ Berdach, *et al.* (1965 : 1605-1607) ได้รายงานว่า Yellow Bullhead (*Ictalurus natalis*) ที่เลี้ยงในน้ำที่มี ABS และ LAS ในระดับความเข้มข้น 0.5 มก./ล. เป็นเวลานาน 24 วัน จะมีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อของหนวด โดยส่วนปลายของต่อมรับความรู้สึกจะถูกทำลาย ทำให้การว่ายน้ำและการหาอาหารของปลาผิดปกติไป

และมีผลทำให้ปลามีความต้านทานต่อสารพิษอื่น ที่มีอยู่ในน้ำลดลงอีกด้วย เช่น ยาฆ่าแมลง เป็นต้น ในสัตว์น้ำอื่นๆ Hotchkies (1966 : 196) ได้ทำการทดลองกับพวก Copepod (*Calanus fimmarchices*) ซึ่งเป็นสัตว์ที่มีความสำคัญต่อห่วงโซ่อาหารของปลาอย่างมาก โดยใช้ผงซักฟอก Gamlen, Dasin และ B.P. 1002 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10 และ 50 มก./ล. ปรากฏว่าสัตว์ทดลองไม่ตายเลยแต่การเจริญเติบโตหยุดชะงัก ตายทั้งหมดใน 2 - 3 วันและตายใน 1 ชม. ตามลำดับ ส่วนในรายงานของ Aksenova (1979 : 255-259) พบว่าสารประกอบของ Alkyl Sulfate Detergent ที่ระดับความเข้มข้น 0.25 มก./ ล. จะทำให้พวกแพลงค์ตอนสัตว์อ่อนแอลงอย่างเห็นได้ชัด

ส่วนการศึกษาความเป็นพิษของผงซักฟอกต่อสัตว์น้ำในประเทศไทย การทดลองส่วนใหญ่อยู่ในรูปผลิตภัณฑ์ของผงซักฟอก การศึกษาพิษของสารลดแรงตึงผิวโดยตรงนั้นมีน้อยมาก ประสิทธิ์ กลิ่นภิรมย์ (2521) รายงานความเป็นพิษของผงซักฟอก 4 ชนิดคือ แฟ็บ บรีส เพค รินโซ่ ที่ระดับความเข้มข้น 5, 7.5, 10 และ 12 มก./ล. จะมีผลต่อการเจริญเติบโตและการผสมพันธุ์ของหอยขม ทำให้ลูกหอยขมที่ฟักออกมาเป็นตัวรูปร่างผิดปกติไป ไมตรี ดวงสวัสดิ์ (2524 : 34 - 43) รายงานว่า LAS มีพิษต่อปลาแบบเฉียบพลันมากกว่า ABS ตั้งแต่ 1.5 - 4 เท่า โดยเฉพาะน้ำที่ไม่มี Water Treatment Plant Buapetch (1982) ทดลองผงซักฟอก 4 ชนิด ที่ใช้ในตลาดเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวซึ่งใช้ Tetrapropylene Benzene Sulfonate ต่อปลาตะเพียนขาว (*Puntius gonionotus*) พบว่าค่า 96 ชม. LC_{50} ของผงซักฟอกทั้ง 4 ชนิด คือ แฟ็บ บรีส ผงซักฟอกไม่ระบุชื่อชนิด ก, ข และTetrapropylene Benzene Sulfonate อยู่ระหว่าง 18.12, 20.18, 27.79, 131.10 และ 17.92 มก./ล. ตามลำดับ ธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์ (2526) ศึกษาความเป็นพิษต่อไรแดงของผงซักฟอก 3 ชนิดคือ แฟ็บ บรีส และ White magic ซึ่งมี LAS เป็นองค์ประกอบ พบว่าค่า 24 ชม. LC_{50} เท่ากับ 28.1, 37.3 และ 16.3 มก./ล. ตามลำดับ ชาญยุทธ์ คงภิรมย์ชื่น (2528)ได้ศึกษาพิษเฉียบพลันของผงซักฟอกต่อปลานิล พบว่าแฟ็บชนิดเก่าซึ่งเป็น Hard Detergent , White magic และแฟ็บสูตรใหม่ซึ่งเป็น Soft Detergent พบว่าค่า LC_{50} ที่ 96 ชม.เท่ากับ 19.5, 12.5 และ 9.2 มก./ล. ตามลำดับ และศึกษาผลของแฟ็บสูตรใหม่ต่อการเจริญเติบโตของปลานิล พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลที่กลุ่มความเข้มข้น 7 มก./ล. จะต่ำกว่า 0.5 และ 3 มก./ล. การศึกษาทางด้านพยาธิวิทยาของเนื้อเยื่อได้แก่ เหงือก ตับไต ลำไส้ หัวใจ กล้ามเนื้อ และผิวหนังของปลานิลที่เลี้ยงในแฟ็บสูตรใหม่ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 3 และ 7 มก./ล. ในระยะเวลา 12 สัปดาห์ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อดังกล่าว

2.3 ผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำทิ้ง

สาร ABS เป็นปัญหาในการกำจัดเพราะแบคทีเรียย่อยสลายได้ยาก ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องฟองในบ่อเติมอากาศ ซึ่งทำให้ความต้องการออกซิเจนของบ่อเติมอากาศเพิ่มขึ้น Lynch and Sawyer (1954 : 1193-1200) รายงานว่าสารลดแรงตึงผิวทุกชนิดมีผลต่อการเข้าไปรบกวนกระบวนการเติมอากาศทำให้อัตราการเติมอากาศลดลงถึง 50% ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของระบบลดต่ำลงด้วย นอกจากนี้ในระบบย่อยตะกอนแบบไร้อากาศ (Anaerobic Sludge Digestion) หากตะกอนที่เข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นของ ABS Detergent 2 - 3% จะเกิดผลกระทบอย่างรุนแรงต่อระบบคือปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะน้อยลงและประสิทธิภาพของระบบจะไม่ดีเมื่อเทียบกับระบบถังหมักตะกอนที่ไม่มี ABS Detergent อย่างไรก็ตาม เมื่อทดลองต่อไปอีกเป็นเวลา 17 เดือน ปรากฏว่าระบบบำบัดกลับมีประสิทธิภาพดีขึ้นเป็นปกติ รวมทั้งปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นด้วย แสดงว่าแบคทีเรียสามารถปรับตัวให้เคยชินกับสาร ABS ได้ จนกระทั่งไม่เกิดผลกระทบทางลบต่อประสิทธิภาพของระบบต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่า Soft Detergent และ Hard Detergent บางชนิดมีผลกระทบต่อระบบบำบัดแบบ Digester เหมือนๆ กัน คือลดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นตามปกติให้น้อยลง และตัวมันเองไม่ถูกย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนของระบบถังหมัก

3. การสลายตัวของสารซักฟอก

3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายของสารซักฟอก

ในการย่อยสลายสารซักฟอกนั้นจะเกิดขึ้นจากกิจกรรมในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมต่างๆ ดังนี้

1. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในแหล่งน้ำ จากการศึกษาของ Wayman and Robertson (1963 : 367-384) พบว่าการย่อยสลายทางชีวภาพของผงซักฟอกภายใต้สภาพที่มีออกซิเจน (Aerobic Condition) จะเกิดขึ้นได้ดีกว่าในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic Condition) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Swisher (1970 : 496) ที่พบว่า การย่อยสลายทางชีวภาพของผงซักฟอกจะเกิดขึ้นช้ามากภายใต้สภาพที่ไม่มีออกซิเจน ส่วน Halvorson and Ishaque (1969 : 571-576) พบว่า ABS Detergent จะไม่ถูกย่อยสลายในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนได้เลยและABSที่ความเข้มข้นสูง 80 มก./ล. จะไม่เกิดการย่อยสลายเลยในช่วงแรก เพราะแบคทีเรียต้องมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมก่อนจึงทำการย่อยสลายผงซักฟอก

2. อุณหภูมิ จากการทดลองของ Fuhrman , *et al.* (1964 : 857-865) พบว่า ถ้าปัจจัยอื่นๆ คงที่แล้ว อัตราการย่อยสลายของผงซักฟอกจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 0 °ซ 23 °ซ และ 35 °ซ ผลปรากฏว่าที่อุณหภูมิ 35 °ซ สารลดแรงตึงผิวจะถูกย่อย

สลายเร็วที่สุด รองลงมาที่ 23 °ซ และ 0 °ซ ตามลำดับ นอกจากนี้ Halvorson and Ishaque (1969 : 571-576) ศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจาก 25 °ซ เป็น 10 °ซ จะทำให้ระยะเวลาที่แบคทีเรียย่อยสลาย ABS เพิ่มขึ้น และถ้าอุณหภูมิลดลงถึง 0 °ซ การย่อยสลายจะไม่เกิดขึ้นเลย

3. ธาตุอาหาร ในการย่อยสลายผงซักฟอกในน้ำทิ้งจะเกิดขึ้นเมื่อธาตุอาหารที่เป็นสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำถูกแบคทีเรียย่อยสลายหมดก่อนเพราะสารอินทรีย์จะย่อยสลายง่ายกว่าผงซักฟอก (Swisher, 1970 : 496)

4. สารพิษที่เจือปนอยู่ในแหล่งน้ำ จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อแบคทีเรีย ซึ่งมีผลทางอ้อมต่อการย่อยสลายของผงซักฟอก เช่น ยาฆ่าแมลงที่ตกค้างอยู่ในแหล่งน้ำ ได้แก่ ฟีนอล (Phenol) ที่ระดับความเข้มข้น 2 มก./ล. จะมีผลต่อการย่อยสลายของผงซักฟอก (Fuhrmann, *et al.*, 1964 : 857-865)

5. ชนิดของสารลดแรงตึงผิวจากการศึกษาส่วนใหญ่พบว่า LAS จะมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียมากกว่า ABS และจะมีความเป็นพิษน้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Swedmark , *et al.*, 1971 : 923-924)

6. สภาพความเป็นกรดเบส (pH) ที่ระดับพีเอชเป็นกลาง ผงซักฟอกประเภทสารลดแรงตึงผิวประจุบวก จะมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียมากที่สุดและจะลดน้อยลงเมื่อพีเอชต่ำลง ส่วนประเภทสารลดแรงตึงผิวประจุลบที่ระดับพีเอชเป็นกลางจะมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียน้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประจุบวก ส่วนที่พีเอชต่ำลงจะมีความเป็นพิษเพิ่มขึ้น (Glassman and Molnan, 1951 : 170 - 180)

3.2 การสลายตัวของสารซักฟอกในแหล่งน้ำธรรมชาติ

Simpson, *et al.* (1956 : 240) and Hammerton (1955 : 517-524) ได้ศึกษาถึงการสลายตัวของสารลดแรงตึงผิวในแหล่งน้ำธรรมชาติ พบว่า Alkyl Sulfate จะหายไปจากแหล่งน้ำในเวลา 1-2 วัน ขณะที่ Alkyl Benzene Sulfonate ซึ่งเป็นพวกที่สลายตัวยากกว่า จะอยู่ในแหล่งน้ำได้หลายวัน และ Alkyl Benzene Sulfonate จะมีความคงทนน้อยกว่า Tetrapropylene ซึ่งได้มาจากสารประกอบ ABS มีความเฉื่อยต่อการย่อยสลาย

3.3 การสลายตัวของสารลดแรงตึงผิวในระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบต่าง ๆ

1. ระบบบ่อเกรอะ (Septic Tank) Klein and McGauhey (1966 : 857-865) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ ABS, LAS และ ALC (Alcohol Sulfate) ในแบบจำลองของบ่อเกรอะ พร้อมลานซึม (Septic Tank Percolation Field System) โดยปล่อยน้ำทิ้งที่มีระดับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว 25 มก./ล. เข้าสู่ระบบ โดยมี

ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำ 2 วัน พบว่า ABS ถูกกำจัดออกไปต่ำสุดคือ 54.5 - 73.9% ส่วน LAS และ ALC ถูกกำจัดออกไปอย่างมีประสิทธิภาพตามลำดับดังนี้ 97% และ 99% ส่วนในสภาพไม่มีออกซิเจน พบว่าทั้ง LAS, ABS จะถูกกำจัดออกไปน้อยมากคือ ABS 8.5 - 9.8% LAS 9 - 14.6% แต่ ALC ถูกจำกัดออก 60.8 - 63.4%

2. บ่อผึ่ง (Oxidation Ponds) จากการศึกษาของ Theodore (1986 : 433-436) พบว่าระบบบ่อผึ่งซึ่งมีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำ 30 วัน สามารถกำจัด LAS ได้ 93.1%, ABS 40% และ Klein and McGauhey (1966 : 857 - 865) ได้ทำการศึกษาในระบบบ่อปรับเสถียร (Conventional Stabilization Ponds) ซึ่งมีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำ 30 วัน สามารถกำจัดสารลดแรงตึงผิวชนิด ALC ได้ 98%, LAS 93.1% ABS ต่ำกว่า 40% และระบบ High Rate Stabilization Ponds ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำ 33 วัน สามารถกำจัด ALC ได้ 95.2%, LAS ได้ 96.2% และ ABS ต่ำกว่า 15%

3. ระบบโปรยกรองมาตรฐาน (Standard - Rate Trickling Filters) Klein and McGauhey (1966 : 857-865) ได้รายงานถึงประสิทธิภาพในการกำจัด ABS, LAS โดยทำการทดลองผ่านน้ำทิ้งที่มีสารลดแรงตึงผิว 5 มก./ล. เข้าสู่ระบบ Standard - Rate Trickling Filters เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า ABS ถูกกำจัด 32% ส่วน LAS ถูกกำจัด 84.7%

4. ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) Klein and McGauhey (1966 : 857-865) พบว่าในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ เมื่อผ่านน้ำทิ้งที่มี ABS และ LAS ในระดับความเข้มข้น 3 มก./ล. ด้วยอัตรา 0.7 มก./นาที อัตราเติมอากาศ 100 ซม^3/นาที อัตราดึงตะกอนกลับ 150% ของอัตราน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบ โดยให้ค่า MLSS คงที่ ที่ 300 มก./ล. มีผลทำให้กำจัด LAS ได้ 97% ABS ได้ 50% ส่วนซีโอดี มากกว่า 70% และบีโอดีมากกว่า 90%

Theodore (1968 : 433-436) พบว่าระบบกำจัดแบบ Conventional Activated Sludge ซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักน้ำ 6-16 ชม. และระบบอีเอ (Extended Aeration) ซึ่งมีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำ 47 ชม. จะสามารถกำจัด LAS ได้ 85%, 97.7% ส่วน ABS ถูกกำจัดได้เพียง 58-61% ตามลำดับ

4. กระบวนการทางกายภาพ - เคมี (Physical - Chemical Process)

กระบวนการทางฟิสิกส์ - เคมี ที่สามารถใช้กำจัดน้ำเสียประเภทนี้ วิธีการทางเคมีจะเน้นหนักในเรื่องของการตกตะกอนด้วยสารเคมี (Coagulation) เช่น สารส้ม หรือ เฟอริกซัลเฟต เฟอริกคลอไรด์ ส่วนวิธีการทางด้านฟิสิกส์ ได้แก่ การกรองด้วยตัวกรอง เช่น ทราย ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นต้น กระบวนการทางฟิสิกส์ - เคมี นี้ จะมีประสิทธิภาพสูง ต้นทุนในการกำจัดต่ำ

สามารถกำจัดสารต่างๆ ได้ดีกว่าระบบทางชีวภาพ ทั้งยังใช้พื้นที่น้อยกว่าด้วย ประมาณว่า 1/2 - 1/4 ของพื้นที่ของระบบชีวภาพ (Hamburg , 1971 : 122 -129)

ในกระบวนการทางฟิสิกส์ - เคมี ในการบำบัดน้ำเสียประเภทนี้ จะขอกล่าวถึงวิธีการทางเคมี คือ กระบวนการโคแอกกูเลชั่น (Coagulation) และกระบวนการทางฟิสิกส์ คือการกรอง (Filtration) ดังนี้

4.1 กระบวนการโคแอกกูเลชั่น (Coagulation)

4.1.1 กระบวนการโคแอกกูเลชั่น

โคแอกกูเลชั่น คือ การรวมตัวกันของสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ ซึ่งมีผลมาจากการเติมสารเคมี ทำให้เกิดการสูญเสียเสถียรภาพของอนุภาค โดยลดแรงที่ทำให้อนุภาคอยู่ห่างกัน มาอยู่ใกล้กัน ผลที่ได้คือ เกิดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (อุดมผล พืชน์ไพบูลย์, 2535 : 35)

กระบวนการโคแอกกูเลชั่น มีวัตถุประสงค์ดังนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2536 : 82)

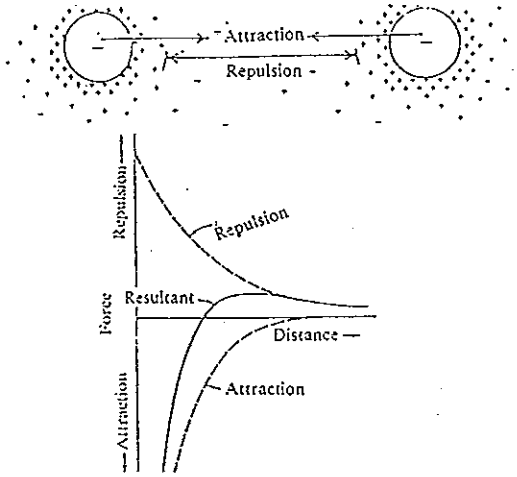
- กำจัดความขุ่นทั้งในรูปของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์
- กำจัดสีแท้และสีปรากฏ
- กำจัดเชื้อโรคและจุลชีพต่าง ๆ
- กำจัดฟอสฟอรัส

ในน้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีด จะมีความขุ่นหรือสารแขวนลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งความขุ่นเหล่านี้เกิดขึ้นจากอนุภาคเล็กๆ ซึ่งเรียกว่า คอลลอยด์ (Colloid) โดยทั่วไปมีขนาดอยู่ในช่วง 10^{-6} มม. (1nm) จนถึง10^{-3} มม. (1ไมครอน) ซึ่งอนุภาคคอลลอยด์จะมาจากสารอินทรีย์ (โมเลกุลขนาดใหญ่) หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ อนุภาคคอลลอยด์จะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าอาจมีประจุบวกหรือลบก็ได้ ซึ่งจะแบ่งอนุภาคคอลลอยด์เป็น 2 ชนิด ตามแรงยึดเหนี่ยว คือ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538 : 147-161)

- Hydrophobic เป็นอนุภาคที่มีแรงยึดเหนี่ยวที่มีกำลังอ่อน อนุภาคชนิดนี้ไม่ชอบน้ำ สามารถแยกออกจากน้ำได้โดยง่ายเพราะไม่มีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้ม อนุภาคชนิดนี้ส่วนใหญ่จะมีอิออนลบ เช่น ดินเหนียว ทอง

- Hydrophilic เป็นอนุภาคที่มีแรงยึดเหนี่ยวกำลังแรง ชอบน้ำ มีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ จึงต้องใช้แรงมากในการบังคับให้อนุภาคต่างๆเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อน เพราะโมเลกุลของน้ำเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางป้องกันไม่ให้อนุภาคต่างๆ เข้าใกล้และจับตัวกัน อนุภาคชนิดนี้ส่วนใหญ่อิออนจะเป็นบวก เช่น โปรตีน, สบู่ และผงซักฟอก

อนุภาคคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพนั้น จะแขวนลอยในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอนภายในระยะเวลาอันสั้น เมื่อทำให้อนุภาคคอลลอยด์ตกตะกอนและแยกตัวออกจากน้ำก็ถือว่า เสถียรภาพของคอลลอยด์ถูกทำลายไม่มีเสถียรภาพอีกต่อไป ซึ่งเสถียรภาพของคอลลอยด์จะขึ้นอยู่กับแรงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค แรงผลักจะต้องสูงกว่าแรงดูดจึงทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ถ้าแรงดูดมากกว่าแรงผลัก อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ สามารถจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟลอคได้ ทำให้คอลลอยด์ไม่มีเสถียรภาพ แรงดูดระหว่างอนุภาคเรียกว่าแรงแวนเดอร์วาวล์ (van der Waals Force) เป็นแรงอ่อนที่มีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน ส่วนแรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคหรือซีตาโพเทนเชียล ผลลัพธ์ของแรงระหว่างอนุภาคทั้ง 2 ชนิด ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค ดังแสดงในภาพประกอบ 1 จะเห็นได้ว่าแรงดูดมีอำนาจเหนือกว่าแรงผลักก็ต่อเมื่ออนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมาก โดยปกติแล้วแรงผลักซึ่งเกิดจากซีตา-โพเทนเชียล ไม่เปิดโอกาสให้อนุภาคต่างๆ เข้ามาใกล้กันจนเกิดการดูดเข้าหากัน



ภาพประกอบ 1 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่าง ๆ
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538 : 155

ดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้นว่ากระบวนการโคแอกกูเลชั่น คือกระบวนการทำให้อนุภาคคอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพแล้วมารวมกันเป็นฟลอค ซึ่งการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ต้องอาศัยกลไก 4 แบบ คือ

(1) การลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) โดยการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับอนุภาค (Counter Ion)ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ผลที่เกิดขึ้นคือชั้นกระจายมีความหนาลดลงและ

ทำให้ซีตาโพเทนเชียลลดลงตามไปด้วยจึงช่วยทำให้อิออนบวกและอนุภาคคอลลอยด์เข้าใกล้กันมากขึ้น

(2) การดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and Charge Neutralization) สารเคมีบางหมู่สามารถดูดติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ถ้าสารเหล่านั้นมีประจุไฟฟ้าตรงข้ามกับคอลลอยด์ ซึ่งจะมีผลในทางลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์

(3) การห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น (Sweep Floc Coagulation or Sweep Coagulation) เป็นการเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำปริมาณที่พอเพียงจะมีการตกผลึกอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึก ทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่หรือจับตัวรวมกับผลึก ทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กและน้ำหนักมากขึ้น ทำให้สูญเสียเสถียรภาพและตกตะกอน

(4) การใช้สารอินทรีย์โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer Bridging) สารโพลีเมอร์นี้มักมีขนาดใหญ่ประจุไฟฟ้าอาจเป็นบวก ลบ หรือไม่มีประจุก็ได้ โมเลกุลของโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง อันเนื่องมาจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์หรือเป็นแรงของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่เหมือนกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระ สำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว ทำให้อนุภาคจับตัวกับอนุภาคอื่นๆ โดยมีโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม ผลที่ได้คือฟลอคที่มีขนาดใหญ่สามารถแยกออกจากน้ำใสได้ง่าย

ในกระบวนการโคแอกกูเลชั่นนอกจากจะทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ (Destabilization) ได้แล้ว ขั้นต่อไปต้องทำให้อนุภาคที่ถูกทำลายประจุเหล่านี้เคลื่อนที่มา กระทบหรือสัมผัสให้มากที่สุด (Transport of Colloidal Particles) จนรวมตัวกันเป็นกลุ่มเป็นก้อนหรือฟลอค (Floc) ซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่า Flocculation ซึ่งวิธีสร้างสัมผัสให้กับอนุภาคต่างๆ มีดังนี้

ก. ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสัมผัสเกิดขึ้นรวมเป็นฟลอคขนาดใหญ่พอที่จะตกตะกอนได้เอง ซึ่งในการสร้างสัมผัสนี้จะดำเนินการในถังกวนช้า วิธีสร้างสัมผัสแบบนี้มีชื่อทางเทคนิคว่า Orthokinetic Flocculation อนุภาคควรมีขนาดใหญ่กว่า 0.1-1 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล.

ข. การสัมผัสอาจเกิดขึ้นเองได้โดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian Motion) ซึ่งเกิดขึ้นจากอนุภาคคอลลอยด์กระทบกันเองหรือถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หรือเป็นการเคลื่อนที่แบบอาศัยความร้อน (Thermal Motion) ซึ่งเรียกการสัมผัสแบบนี้

ว่า Perikinetic Flocculation และไม่ใช้พลังงานจากภายนอกในการสัมผัส

ค. การสัมผัสระหว่างอนุภาคเกิดขึ้นเนื่องจากการตกตะกอน ที่มีอัตราเร่งไม่เท่ากับอนุภาคต่างๆ ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมๆกับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้เลย อนุภาคที่สร้างฟลอคคูเลชั่นแบบนี้ได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นมากกว่า 50 มก./ล.

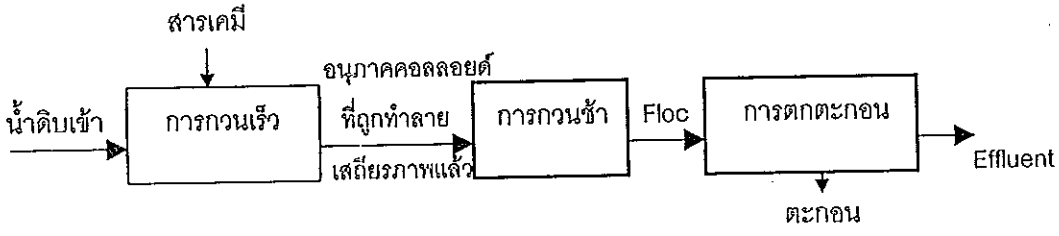
ง. ในกรณีที่อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 0.1-1 ไมครอน แต่เล็กกว่า 5 ไมครอน และความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มก./ล. ฟลอคอาจเกิดขึ้นช้า เนื่องจากโอกาสสัมผัสน้อย สามารถแก้ไขได้ดังนี้

- ใช้เครื่องกรองทรายแบบกรองเร็วหรือแบบกรอง 2 ชั้น(ทรายและถ่านแอนทราไซท์) จะช่วยเพิ่มอัตราสัมผัสและบังคับให้อนุภาคต่างๆ เคลื่อนที่มาชิดกันด้วย

- ใช้อนุภาคที่จับตัวกันเป็นฟลอคแล้วเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคใหม่ ซึ่งทำได้ 2 วิธี คือ ทำให้ฟล็อคจับตัวกับสลัดจ์และบังคับให้อนุภาคเคลื่อนที่ผ่านชั้นสลัดจ์อีกวิธี คือ นำเอาฟลอคคืนมาผสมกับอนุภาคแล้วสร้างสัมผัส ซึ่งจะพบได้ในถังตกตะกอนแบบโซลิดซ์คอนแทคท์ (Solic Contact Clarifier)

4.1.2 ส่วนประกอบของกระบวนการโคแอกกูเลชั่น

กระบวนการโคแอกกูเลชั่นมีส่วนประกอบสำคัญ 2 ประการ ได้แก่ การกวนเร็ว (Rapid Mixing) และการกวนช้า (Slow Mixing) ถังกวนเร็วซึ่งมีการเติมโคแอกกูแลนท์จะทำหน้าที่กระจายสารเคมีไปให้ส่วนต่างๆของน้ำอย่างรวดเร็ว เพื่อให้มีการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ การกวนน้ำจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงแต่ใช้เวลาน้อยมาก น้ำที่มีอนุภาคซึ่งปราศจากเสถียรภาพแล้วจะถูกส่งไปยังถังกวนช้า เพื่อสร้างสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์เพื่อให้รวมตัวกันเป็นฟลอค แล้วไปตกตะกอนในถังตะกอนต่อไป ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ส่วนประกอบของกระบวนการโคแอกกูเลชั่น

4.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโคแอกกูเลชั่น (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2526)

ก. ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำจะเป็นทั้งสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ มีสภาพเป็นประจุบวกหรือลบ ดังนั้นถ้าทราบชนิดของคอลลอยด์จะได้เลือกสารเคมีในการช่วยให้ตกตะกอนได้เหมาะสม

ข. ชนิดของสารที่ใช้ในการตกตะกอน สารเคมีแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์แต่ละชนิดไม่เหมือนกันตลอดจนคุณสมบัติของการตกตะกอนและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำ ลักษณะฟลอค ความเร็วในการตกตะกอน ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน ดังนั้นจะต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสม ระหว่างชนิดของคอลลอยด์และสารที่ใช้ในการตกตะกอน

ค. ความเป็นกรด - ด่างในการตกตะกอน สารที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่พีเอชช่วงหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นต้องมีการปรับพีเอชให้เหมาะสมตามความต้องการของสารเคมี

ง. ปริมาณของสารที่ช่วยให้ตกตะกอน มีความสำคัญเกี่ยวกับความสามารถในการตกตะกอน เพราะตามธรรมชาติสารใดก็ตาม ถ้าผลคูณ Ion Product ไม่เกิน K_{sp} หรือค่าคงที่ของการละลายของสารนั้นแล้ว สารนั้นจะไม่ตกผลึกตะกอนออกมาในน้ำ แต่ถ้าเกินค่า K_{sp} มันจะตกผลึกตะกอนทันที ดังนั้นปริมาณสารที่ช่วยในการตกตะกอนจะต้องเหมาะสมต่อการตกตะกอนในแต่ละครั้ง ถ้ามากเกินไปก็จะทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรภาพใหม่

จ. อุณหภูมิ ซึ่งมีผลต่อความหนืด (Viscosity) ของน้ำ ถ้าอุณหภูมิต่ำความหนืดจะสูงทำให้อัตราการตกตะกอนเพื่อเกิดฟลอคช้าลง เนื่องจากมีแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นฟลอคจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง นอกจากนั้นสารพวกสารซักฟอกจะไปขัดขวางการเกิดฟลอคไม่ให้เกิดได้ดีเท่าที่ควร (AWWA, 1950:451)

ฉ.ความเข้มข้นของสารเจือปนในน้ำ น้ำทิ้งใดที่มีปริมาณคอลลอยด์มากจะตกตะกอนได้ดีกว่าและใช้สารเคมีในการตกตะกอนน้อย เพราะน้ำที่มีความเข้มข้นสูงอนุภาคจะมีโอกาสสัมผัสกันได้ง่าย ใส่สารเคมีปริมาณน้อยก็ตกตะกอนแล้วเพราะมีเป้าสัมผัสมาก

ช.การกวนเพื่อให้เกิดความปั่นป่วนในน้ำต้องมีความเร็วเหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วแกรเดียนท์ (G) ความปั่นป่วนของน้ำในถังกวนเร็วจะต้องมีระดับสูงไม่น้อยกว่า 300 - 1,500 วินาที$^{-1}$ ถังกวนช้า 20-75 วินาที$^{-1}$ เวลาในการกวนเร็ว 20-60 วินาที กวนช้า 15-30 นาที ค่า Gt สำหรับการกวนเร็ว 30,000-60,000 การกวนช้า 10,000-100,000 การกวนเร็วนี้จะทำให้สารเคมีกระจายตัวในน้ำได้ทั่วถึง และเพิ่มอัตราการชนกันระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กับสารเคมี ทำให้เกิดการรวมตัวเป็นฟลอคได้ง่ายขึ้น (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2536 : 88-91)

4.1.4 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชั่น

ก. การตกตะกอนด้วยสารส้ม (Aluminum Sulfate, Alum)

สารส้มสูตรเคมี คือ $Al_2(SO_4)_3 .18H_2O$ มีน้ำหนักโมเลกุล 666.7 (Metcalf and Eddy, 1991 : 303) มีสีน้ำตาลอ่อนๆ หรือสีเทาเขียว มีทั้งที่อยู่ในสภาพเป็นก้อนๆ เป็นผงหรือของเหลวสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ดีที่สุด ณ พีเอช 5.5 - 8.0 เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำเสีย ซึ่งถ้ามีสภาพเป็นด่าง (Alkalinity) จะเกิดตะกอนรุ้นรูปร่างคล้ายหัวเข็มหมุดของ $Al(OH)_3$ (Aluminum Hydroxide) (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539 : 129) ดังสมการ

$$Al_2(SO_4)_3 .18\ H_2O + 3Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2Al(OH)_3 + 3CaS0_4 + 18H_2O + 6CO_2 \quad (1)$$

Kawamura (1976 : 328-339) กล่าวว่าสารส้มเป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันมากที่สุดในบรรดาสารสร้างตะกอนชนิดต่างๆ ทั้งยังมีราคาถูก หาซื้อง่าย ใช้งานได้ง่าย แต่ในการใช้สารส้มก็ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอีกหลายอย่าง เช่น ชนิดและปริมาณของอนุมูลต่างๆในน้ำ พีเอช อุณหภูมิ คุณลักษณะของคอลลอยด์ ขนาดของคอลลอยด์ การกวนและความเข้มข้นของสารส้ม

ข. การตกตะกอนด้วยโพลิเมอร์ (Polyelectrolytes)

สารโพลิเมอร์จะมีอยู่ 3 ลักษณะ คือสารที่มีประจุลบ (Anionic Polyeletrolytes) สารที่มีประจุบวก (Cationic Polymers) และสารที่มีทั้งประจุลบและบวก (Polyamphotytes) สารโพลิเมอร์ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดตะกอนได้เร็ว โดยอาศัยการดูดซับ (Adsorption) การสะเทิน (Neutralization) และการเชื่อมต่อกัน (Interpartical Bridging) ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอนอีกสารหนึ่ง (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539 : 131) โพลิเมอร์อาจนำมาใช้เป็นสารสร้างตะกอนได้เลย แต่เนื่องจากมีราคาแพงกว่าสารส้มและสารสร้างตะกอนตัวอื่นๆ ในทางปฏิบัติจึงใช้โพลิเมอร์เป็นตัวช่วยเหลือสารส้มหรือสารอื่นในการสร้างตะกอน อีกประการหนึ่งโพลิเมอร์ไม่เหมาะสำหรับใช้ตามลำพังกับน้ำที่มีความขุ่นต่ำเนื่องจากโพลิเมอร์ไม่สร้างเป้าสัมผัสเพิ่มขึ้นโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคจึงมีน้อยและไม่อาจสร้างฟลอคขนาดใหญ่ได้ โพลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารสร้างตะกอนต้องสามารถเกาะติดผิวของอนุภาคความขุ่นโดยมีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างความเข้มข้นของความขุ่นกับปริมาณของโพลิเมอร์ที่ใช้ในกระบวนการสร้างตะกอนคือ ถ้าความขุ่นสูงก็ต้องการโพลิ-เมอร์มาก แต่ถ้าความขุ่นต่ำก็ต้องการโพลิเมอร์น้อย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2838 : 167)

<u>ปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอน</u>

ความล้มเหลวของการสร้างตะกอนในการปรับปรุงคุณภาพน้ำพบว่าส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป ในส่วนของการใช้ปริมาณที่น้อยเกินไปอาจทำให้ไม่เพียงพอต่อการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ในขณะที่ปริมาณ

ที่มากเกินไปจะนำไปสู่การกลับคืนสู่สภาพการมีเสถียรภาพอีกครั้งของประจุบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ในปัจจุบันทฤษฎีของการทำลายเสถียรภาพยังไม่พัฒนาจนสามารถบอกถึงการเลือกปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมของการสร้างตะกอนโดยปราศจากการทดลอง

4.1.5 จาร์เทสต์ (Jar Test)

จาร์เทสต์เป็นวิธีควบคุมโคแอกกูเลชั่นหรือกระบวนการสร้างตะกอนซึ่งเป็นวิธีทดสอบในบีกเกอร์ เครื่องมือทดสอบเป็นเครื่องกวนที่ปรับความเร็วรอบได้ ส่วนมากมีใบพัดกวนน้ำ 6 ใบ ในการทดลองแต่ละครั้งจะเลือกชนิดของสารเคมีและกำหนดสภาวะต่างๆ ซึ่งได้แก่ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ ความเร็วรอบและระยะเวลากวนน้ำ (ทั้งกวนเร็วและกวนช้า) และระยะเวลาตกตะกอน แล้วจึงทดลองโดยเติมสารเคมีในปริมาณต่างๆลงในบีกเกอร์แต่ละใบ ระดับพีเอชอาจให้คงที่หรือเปลี่ยนไปแล้วแต่ความมุ่งหมายของการทดลอง แม้ว่าในปัจจุบันการทดลองจาร์เทสต์จะใช้กันอย่างกว้างขวางแต่ก็ยังมีข้อบกพร่องคือบิกเกอร์ที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะแตกต่างจากสภาพความเป็นจริงถึงจะพยายามกำหนดตัวแปรต่างๆ ในการทดลองให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง แต่อิทธิพลดังกล่าวทำให้ตัวแปรมีค่าแตกต่างจากความเป็นจริง

4.2 การกรองน้ำ (Filtration)

การกำจัดสารมลพิษต่างๆ ในน้ำโดยกระบวนการโคแอกกูเลชั่นและการตกตะกอน บางครั้งอาจยังไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องมีการกรองตามมาด้วย การกรองเป็นทั้งวิธีทางกายภาพและเคมีจะช่วยในการกำจัดสารแขวนลอยและสารคอลลอยด์ที่อยู่ในน้ำ รวมทั้งความสกปรกต่างๆ เช่น ความขุ่น แบคทีเรีย ไวรัสและจุลินทรีย์อื่นๆ การกรองน้ำเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ การกรองแบบติดผิว เป็นแบบที่ตะกอนหรือความขุ่นถูกดักจับและติดค้างอยู่บนผิวของสารกรอง ซึ่งอาจเป็นแผ่นผ้าใยสังเคราะห์ แท่งกรองและการกรองแบบติดค้างในชั้นกรองเป็นการกรองที่ตะกอนความขุ่นมีโอกาสเข้าไปในชั้นกรองได้ เครื่องกรองแบบนี้ได้แก่ เครื่องกรองทราย เครื่องกรองถ่าน เป็นต้น

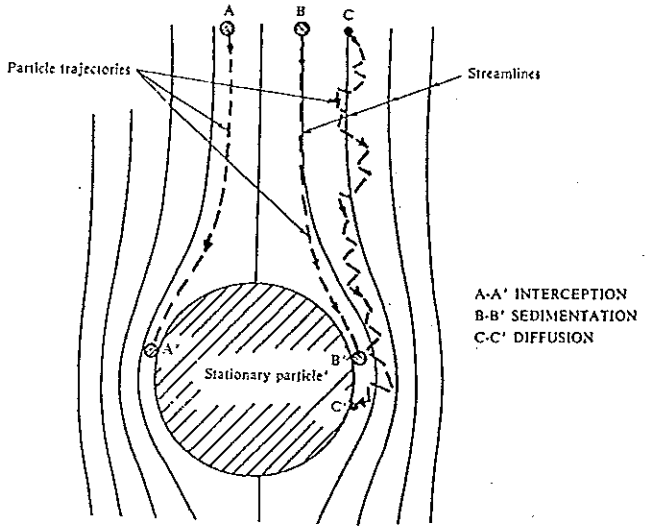
4.2.1 กลไกของการกรองน้ำ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538 : 19-21)

กลไกในการกรองน้ำ จะเกี่ยวกับวิธีการเคลื่อนย้าย (Transport) สารแขวนลอยในน้ำให้เข้าไปหาสารกรอง และวิธีการทำให้สารแขวนลอยเกาะอยู่กับสารกรองหรือสิ่งที่ติดอยู่บนสารกรองก่อน โดยอาศัยกลไก 2 ชุด คือ

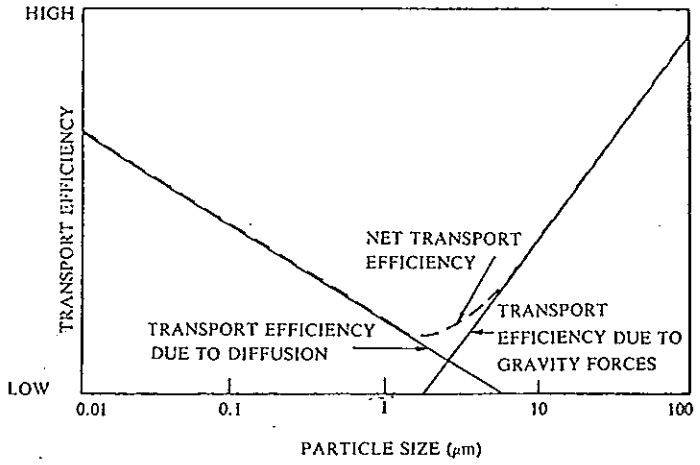
1. กลไกเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง (Transport Mechanism)

สารแขวนลอยเคลื่อนที่เข้าหาสารกรองได้ 2 วิธี (ภาพประกอบ 3) วิธีแรกเป็นการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของสารที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนและเป็นการเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุลที่

เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน วิธีที่สองเป็นการเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำ สารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะวิ่งเบียดเข้าหาสารกรอง (Interception) ในขณะที่ผ่านช่องว่างเล็กๆ สารแขวนลอยขนาดใหญ่อาจตกตะกอนในทิศทางที่เคลื่อนเข้าหาสารกรอง ขนาดและการกระจายขนาดจะมีความสำคัญต่อกลไกการเคลื่อนย้ายอย่างมาก (ภาพประกอบ 4) โดยขนาดของสารแขวนลอยเล็กกว่า 1 ไมครอน ประสิทธิภาพของการเคลื่อนย้ายจะแปรผกผันกับขนาด นั่นคือ สารขนาดเล็กเคลื่อนที่เข้าหาสารกรองได้มากกว่าสารขนาดใหญ่ ขนาดและน้ำหนักของสารแขวนลอยจะมีบทบาทสำคัญในการสร้างกลไกแบบตกตะกอนและติดค้าง ดังนั้นประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายจึงแปรผันตรงกับขนาดของสารแขวนลอย เนื่องจากสารขนาดใหญ่มีน้ำหนักมากและมีปริมาตรมากจึงตกตะกอนหรือติดค้างสารกรองได้ง่าย



ภาพประกอบ 3 กลไกในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำเข้าหาสารกรอง
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538 : 20



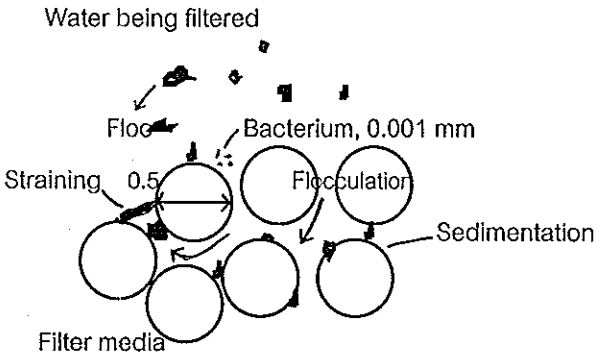
ภาพประกอบ 4 ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยขึ้นอยู่กับขนาด
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538 : 20

2. กลไกจับสารแขวนลอย (Attachment Mechanism)

สารแขวนลอยขนาดใหญ่อาจตกตะกอนและเกาะติดอยู่บนสารกรอง ทำให้สามารถกรองออกจากน้ำได้แต่อนุภาคของสารขนาดเล็กไม่น่ากระทำได้ ดังนั้นการกรองน้ำต้องอาศัยกลไกแบบที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชั่นด้วยนั่นคือ การดูดติดผิว (Adsorption) และทำลายประจุไฟฟ้าของคอลลอยด์ให้เป็นกลาง (Charge Neutralization) สารกรองและคอลลอยด์มักมีประจุลบทั้งคู่ จึงต้องมีการทำลายประจุไฟฟ้าของตัวใดตัวหนึ่งก่อนหรือของทั้งคู่ เพื่อมิให้เกิดแรงผลักระหว่างประจุเดียวกัน ในการกรองน้ำเราสามารถทำลายประจุไฟฟ้าของคอลลอยด์ก่อนผ่านเข้าชั้นกรองได้หรือเปลี่ยนประจุของคอลลอยด์ให้เป็นประจุบวกก่อนผ่านเข้าชั้นกรองก็จะทำให้การดูดติดผิวเกิดขึ้นได้อย่างเหนียวแน่น การเติมสารส้มหรือโพลีเมอร์ก็เป็นการทำลายประจุของคอลลอยด์หรือเปลี่ยนประจุลบให้เป็นประจุบวก ดังนั้นจึงทำให้การกรองน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งคอลลอยด์อาจรวมกันเป็นฟลอคมีขนาดใหญ่ จนตกตะกอนเป็นสารกรองหรือติดค้างอยู่ในระหว่างช่องว่าง

สรุปได้ว่าการกรองสารแขวนลอยขนาดเล็กและใหญ่ออกจากน้ำอาศัยกลไก 2 ชุด โดยสารแขวนลอยขนาดใหญ่หรือฟลอคที่แข็งแรงสามารถตกตะกอนบนสารกรองหรือติดค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรอง ส่วนสารแขวนลอยขนาดเล็กต้องอาศัยแรงที่เกิดจากการแพร่กระจาย (Diffusion Force) และมีกลไกดูดติดผิว ภาพประกอบ 5 แสดงถึงกลไกแบบต่างๆ ของการกรองน้ำ ทำให้สามารถกำจัดสารแขวนลอยได้

CENTRAL LIBRARY
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY



ภาพประกอบ 5 กลไกของการกรองน้ำในเครื่องกรองแบบทรายกรองเร็ว
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538 : 21

4.2.2 การทำงานของระบบกรองน้ำ(เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2536 : 114)

ระบบกรองน้ำจะประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ การกรองน้ำ (Filtration) และการล้างสารกรองในชั้นกรอง (Backwashing) การกรองน้ำคือ การที่น้ำได้ไหลผ่านชั้นกรอง พวกตะกอนได้ถูกดักไว้ที่ชั้นกรอง โดยปล่อยให้น้ำใสไหลออกจากระบบกรองน้ำ หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการกรองน้ำแล้ว คือ เมื่อมีค่าการสูญเสียความดัน (Head Loss)ในชั้นกรองมากเกินไป ทำให้ประสิทธิภาพในการกรองน้ำลดต่ำลง จึงต้องหยุดการกรองน้ำชั่วคราว จากนั้นต้องทำการล้างสารกรองในชั้นกรองเพื่อไล่ตะกอนออกจากระบบกรองน้ำให้หมด โดยน้ำล้างสารกรองไหลผ่านชั้นกรอง ซึ่งต้องมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของน้ำไหลเข้าที่ต้องการกรอง

4.2.3 ประเภทของเครื่องกรองน้ำ

เครื่องกรองน้ำที่ใช้กันในงานบำบัดน้ำเสีย หรือใช้ในการกรองน้ำทิ้งที่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 2 แล้ว ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำที่ไหลล้นออกจากถังตกตะกอน โดยทั่วไปเครื่องกรองน้ำจะเป็นประเภทที่ให้ตะกอนติดค้างอยู่ในชั้นกรอง แล้วจึงทำการล้างเครื่องกรองเพื่อให้ตะกอนที่ค้างอยู่ในชั้นกรองหลุดทิ้งออกไป (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539 : 117) ประเภทของเครื่องกรองน้ำอาจจำแนกตามการกรองน้ำแบบตะกอนติดค้างในชั้นกรองได้ ดังนี้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538 : 10-17)

ก. เครื่องกรองช้า (Slow Sand Filter) ใช้กับปริมาณน้ำเสียน้อยและมีพื้นที่ติดตั้งเพียงพอ เครื่องกรองช้าสามารถกรองน้ำได้ดีเมื่อน้ำมีความขุ่นไม่สูงมากนัก

ข. เครื่องกรองเร็ว (Rapid Sand Filter) ใช้กับปริมาณน้ำเสียปริมาณมาก ในระหว่างการกรองเร็ว น้ำอาจไหลผ่านชั้นกรองได้ในอัตราตั้งแต่ 4 - 50 ม./ชม. (1.6 - 20 gpm / ft^2) เนื่องจากมีอัตราการกรองสูงจึงเชื่อว่าไม่มีปฏิกริยาทางชีวของจุลินทรีย์เกิดขึ้นวิธีการกรองเร็วมี 2 ลักษณะ คือ

- การกรองโดยตรง ไม่ต้องมีการกำจัดความขุ่นออกก่อนด้วยกระบวนการโคแอกูเลชั่นและตกตะกอน ซึ่งอาจมีการเติมสารเคมีให้กับน้ำก่อนเครื่องกรองหรือไม่ก็ได้
- การกรองน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชั่นและตกตะกอนมาแล้ว

ค. เครื่องกรองแบบหลายชั้นกรอง ส่วนใหญ่เป็นแบบเครื่องกรองทรายเร็ว อัตราการกรองน้ำไม่เกิน 2 แกลลอน/ตร.ฟุต-นาทีของพื้นที่หน้าตัดของเครื่องกรอง เครื่องกรองหลายชั้นกรองนี้มีด้วยกัน 2 ชนิด คือ เครื่องกรองแบบสองชั้นกรอง ประกอบด้วยชั้นทรายและถ่านแอนทราไซท์ อีกชนิดหนึ่งคือ เครื่องกรองแบบสามชั้นกรองหรือมากกว่า ประกอบด้วยชั้นทราย ถ่านแอนทราไซท์และกาเน็ท

4.2.4 ประสิทธิภาพของเครื่องกรองน้ำ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538 : 17-19)

ประสิทธิภาพของการกรองน้ำจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของแฟคเตอร์หลายตัว แฟคเตอร์เหล่านี้ส่วนหนึ่งเป็นของน้ำที่เข้าเครื่องกรอง อีกส่วนหนึ่งเป็นของเครื่องกรองเอง ซึ่งคุณสมบัติบางประการของน้ำที่เข้าเครื่องกรอง ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพของการกรองน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิและความสามารถในการกรอง (Filtrability) รูปร่าง ความเข้มข้น ความเหนียว และขนาดของอนุภาคแขวนลอยและอนุภาคคอลลอยด์ ความหนืดของน้ำแปรผันกับอุณหภูมิ แต่อุณหภูมิเป็นแฟคเตอร์ที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุมของผู้ใช้ ความสามารถในการกรองน้ำถือเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญกว่าทุกตัว ความสามารถในการกรองอาจถูกเปลี่ยนแปลงโดยการเติมสารโคแอกกูแลนท์ ซึ่งกระบวนการโคแอกกูเลชั่นจะเป็นการเตรียมน้ำให้สามารถตกตะกอนได้ดีและช่วยให้การกรองดีขึ้นด้วย เครื่องกรองแบบหยาบ-ละเอียด จะเหมาะสมสำหรับน้ำที่มีการเติมสารโคแอกกูเลชั่นยิ่งกว่าเครื่องกรองแบบละเอียด-หยาบ

สมบัติของสารกรองที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องกรอง ได้แก่ ขนาดและรูปร่างของสารกรอง ความพรุนของสารกรอง การเรียงตัวของสารกรอง ความลึกและการสูญเสียความดันในชั้นกรอง ประสิทธิภาพของถังกรองเพิ่มขึ้นตามขนาดของสารกรองที่ลดลง ความพรุนที่ลดลง หรือความลึกที่เพิ่มขึ้นในชั้นกรอง การสูญเสียความดันจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของสารกรองที่ลดลง

อัตราการกรองน้ำก็มีผลต่อการทำงานของเครื่องกรองน้ำเช่นกัน โดยทั่วไปอัตราการกรองยิ่งต่ำประสิทธิภาพของเครื่องกรองยิ่งสูงแต่อัตราการกรองน้ำมิใช่ปัจจัยสำคัญที่สุด เนื่องจากถ้ามีการเตรียมน้ำสำหรับกรองความสามารถในการกรองจะมีความสำคัญกว่าอัตราการกรอง อัตราการ

กรองน้ำที่นิยมใช้ในการออกแบบและควบคุมคือ 81 ล./ม.^{2}--นาที (2 แกลลอน/ตร.ฟุต-นาที) และถ้ามีการเตรียมน้ำให้เหมาะสม เครื่องกรองน้ำจะกำจัดแบคทีเรียได้มากกว่า 99 % แต่ไม่ถึง 100% และการกรองน้ำที่อัตรา 81-243 81 ล./ม.^{2}--นาที (2- 6 แกลลอน/ตร.ฟุต-นาที) สามารถกำจัดไวรัสได้มากกว่า 98 %

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณและลักษณะของสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด
2. เพื่อศึกษาหาวิธีการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียซึ่งเกิดจากกิจกรรมซักรีด ด้วยวิธีการบำบัดทางฟิสิกส์-เคมี (Physical and Chemical Treatment) ได้แก่ การก่อตัวของตะกอน การตกตะกอนและการกรอง
3. เพื่อศึกษาให้ได้มาซึ่งข้อมูลเบื้องต้นทางด้านเทคนิค สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด ซึ่งอาจสามารถนำไปพิจารณาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาให้ได้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Onsite - Treatment สำหรับกรณีเฉพาะต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปริมาณและลักษณะของสิ่งเจือปนต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสิ่งเจือปนทางด้านสารอินทรีย์ (Nutrient) และด้านชีวภาพที่ปรากฏอยู่ในน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมซักรีดประเภทต่างๆ
2. ทราบถึงวิธีการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียซึ่งเกิดจากกิจกรรมซักรีดด้วยวิธีการบำบัดทางฟิสิกส์ - เคมี (Physical and Chemical Treatment) อันได้แก่ การก่อตัวของตะกอน การตกตะกอนและการกรอง
3. ได้ข้อมูลเบื้องต้นทางด้านเทคนิคเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดด้วยวิธีทางฟิสิกส์-เคมี ซึ่งอาจสามารถนำไปพิจารณาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาให้ได้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบOnsite-Treatment สำหรับกรณีเฉพาะต่อไป

ขอบเขตการวิจัย

1. ทำการศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลของปริมาณและลักษณะของสิ่งเจือปนต่างๆ ทางด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพ ในน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมซักรีดประเภทต่างๆ เช่น ร้านบริการซักรีดทั่วไป โรงแรม โรงพยาบาล และกิจกรรมซักรีดในโรงงานอุตสาหกรรมซักรีดขนาดใหญ่
2. ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด ด้วยวิธีการบำบัดทางฟิสิกส์ - เคมี (Physical and Chemical Treatment) โดยมุ่งที่จะลดหรือกำจัดสิ่งเจือปนจำพวกบีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ฟอสฟอรัส สารลดแรงตึงผิว โคลิฟอร์ม แบคทีเรีย และฟีคัลโคลิฟอร์ม แบคทีเรีย

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองและสารเคมีระดับคุณภาพวิเคราะห์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพตัวอย่างทางด้านเคมี

1. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

1.1 การศึกษาถึงลักษณะของสิ่งเจือปนทางด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพของน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดประเภทต่างๆ ได้ดำเนินการโดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากร้านซักอบรีด กิจกรรมซักรีดภายในโรงแรมลีการ์เดนท์ กิจกรรมซักรีดภายในโรงพยาบาลหาดใหญ่ โรงงานทักษิณซักรีดและร้านซักรีดภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มาเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1.2 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในขั้นตอนการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ ใช้น้ำเสียจากร้านซักรีดภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ใช้สารเคมีระดับคุณภาพวิเคราะห์ (ระบุในภาคผนวก ก.)

3. สารเคมีที่ใช้ในการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ

ใช้สารละลายสารส้มมาตราฐาน สารละลายโพลิเมอร์ประจุบวก สารละลายโพลิเมอร์ประจุลบ (Best Floc KS 320A lot. 603151) และผงเกาลิน (Kaolin) (ระบุในภาคผนวก ก.)

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ อุปกรณ์ที่ใช้เป็นแบบทดลองในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีและแบคทีเรีย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. **อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ**

- ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร
- ขวดแก้วไร้เชื้อสำหรับเก็บตัวอย่างทางแบคทีเรีย ขนาด 125 มล.
- ถังพลาสติกขนาด 5 ลิตร และ 30 ลิตร
- ถังโฟมใส่น้ำแข็งสำหรับแช่ตัวอย่าง

2. **อุปกรณ์ที่ใช้เป็นแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ** ดังภาพประกอบ 6 และ 7 โดยแยกเป็น

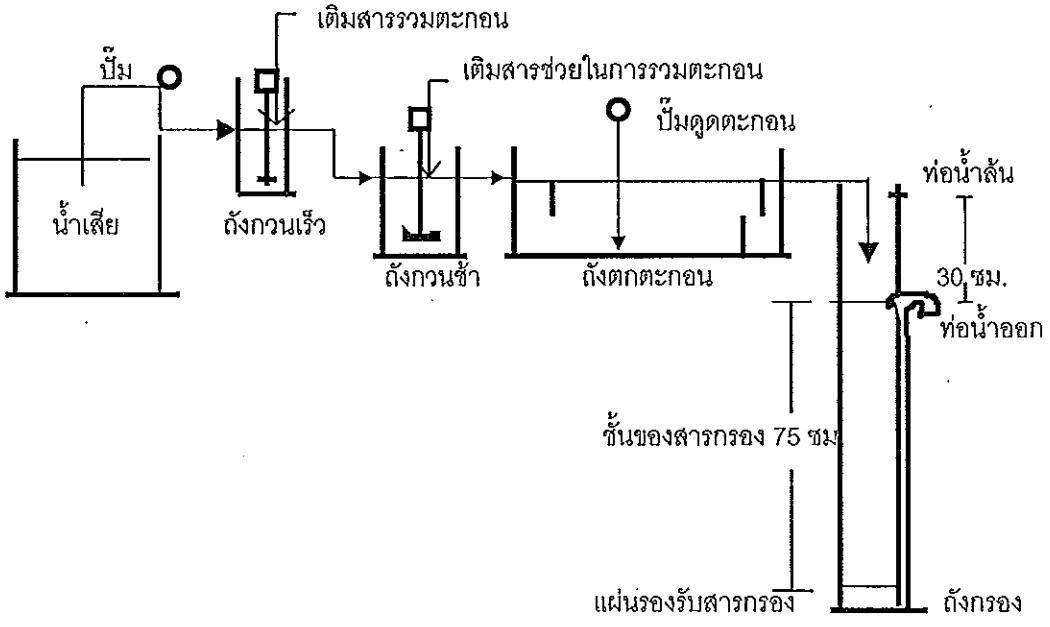
2.1 ถังใส่น้ำเสียดิบ เป็นถังพลาสติกทรงกลม ขนาดความจุ 200 ลิตร

2.2 ส่วนการกวนเร็ว ประกอบด้วยถังกวนเร็วที่ทำด้วยแผ่นพลาสติกใส ขนาด 6x6x12 ซม. พร้อมด้วยตัวกวน

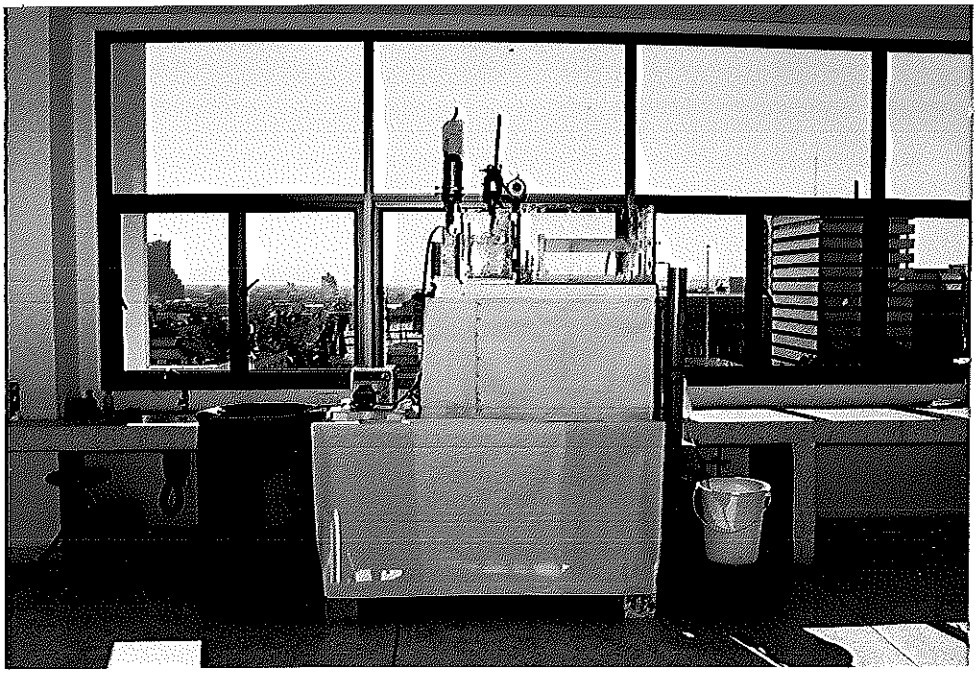
2.3 ส่วนการกวนช้า ประกอบด้วยถังกวนช้าที่ทำด้วยแผ่นพลาสติกใส ขนาด 22x22x31 ซม. พร้อมด้วยตัวกวน

2.4 ส่วนการตกตะกอน ประกอบด้วยถังตกตะกอนที่ทำด้วยแผ่นกระจก ขนาด 60x20x35 ซม. ภายในประกอบด้วยแผ่นบัฟเฟิล (Baffle) ติดตั้งตรงตำแหน่งหัวและท้ายของถังเพื่อช่วยในการตกตะกอน

2.5 ส่วนการกรอง ประกอบด้วยถังกรองทำด้วยท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ซม. สูง 120 ซม.ส่วนก้นถังติดตั้งแผ่นตะแกรงโลหะสแตนเลสเป็นแผ่นรองรับสารกรอง ด้านข้างตัวถังติดตั้งสายยาง เพื่อใช้ศึกษาค่าการสูญเสียความดัน



ภาพประกอบ 6 แสดงรายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ



ภาพประกอบ 7 ลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ

3. **อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารกรอง** ได้แก่

- เครื่องชั่งอย่างหยาบ รุ่น SB 32000 ยี่ห้อ Metter Toledo ของ Diethem Co., Ltd.
- เครื่องคัดขนาดทรายและแอนทราไซท์ (Test Sieve Shaker) รุ่น Octagan 300 ของ Endercotts Ltd.
- ตะแกรงร่อนทราย (Laboratory Test Sieve) ของ Endecotts Ltd.

4. **สารกรอง** ได้แก่

- ทรายกรอง ที่ใช้เป็นทรายแม่น้ำ (Silica Sand) นำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8, 16, 20, 30, 50 และ 100 ตามลำดับ นำเอาส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 30 มาใช้ โดยทรายที่ได้จะมีขนาดสัมฤทธิ์ (Effective Size) เท่ากับ 0.5 มม. ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Uniformity Coefficient) เท่ากับ 1 จากนั้นนำทรายที่คัดขนาดมาล้างน้ำ แล้วนำมาแช่กรดเกลือ 0.1 นอร์มัล ทิ้งไว้ 24 ชม. แล้วนำมาล้างน้ำจึงนำมาใช้ (ดังภาพประกอบ 8)
- แอนทราไซท์ ที่นำมาใช้เป็นแอนทราไซท์ที่มีขายโดยทั่วไป ซึ่งในการคัดขนาดแอนทราไซท์นั้น ดำเนินการเช่นเดียวกับการคัดขนาดทราย แต่นำเอาส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 12 และเบอร์

16 มาใช้ โดยขนาดแอนทราไซท์ที่ได้จะมีขนาดสัมฤทธิ์เท่ากับ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอเท่ากับ 1.3 หลังจากนั้นนำมาล้างน้ำ แล้วนำมาแช่กรดเกลือ 0.1 นอร์มัล ทิ้งไว้ 24 ชม. แล้วนำมาล้างน้ำจึงนำมาใช้ (ดังภาพประกอบ 8)

ภาพประกอบ 8 แอนทราไซท์และทรายกรองที่ใช้ในการทดลอง

5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านเคมีในห้องปฏิบัติการ ได้แก่

- เครื่องมือวัดความเป็นกรด, ด่าง (pH Meter) รุ่น CyberScan 20 ของ Evtech Cybernet
- เครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) รุ่น UV- 1601 SHIMADZU, Japan
- เครื่องทดลองจาร์เทสต์ รุ่น 302 ของ Phipps and Bird, Inc. Richmond, Va,2328.
- เครื่องวัดความขุ่น (Turbidimeter) รุ่น 2100P ของ HACH
- เครื่องชั่งอย่างละเอียด รุ่น AB204 ของ Mettler Toledo
- เครื่อง Reflux ซีโอดี
- เตาไฟฟ้า (Hot Plate)
- เตาเผา รุ่น Furnae 6000 ของ Thermolyne
- ตู้อบ(Hot Air Oven) ของ Memmert
- ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)
- เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
- เครื่องแก้วที่จำเป็นอื่นๆ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาปริมาณและลักษณะของสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด

1.1 สำรวจข้อมูลพื้นฐานของกิจกรรมซักรีดประเภทต่างๆ เช่น ร้านบริการซักรีดทั่วไปในเขตเมือง การซักรีดในโรงพยาบาล การซักรีดในโรงแรม และการซักรีดในระดับอุตสาหกรรมโรงงาน โดยทำการศึกษาสำรวจกิจกรรมซักรีดในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เพื่อให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นทั้งหมดและเข้าใจลักษณะของกิจกรรมซักรีดที่แตกต่างกัน การศึกษาได้ทำการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง โดยการเลือกตัวแทนของกลุ่มซักรีดทุกประเภทมาจำนวน 23 แห่ง แบ่งเป็นร้านซักรีดทั่วไป 19 แห่ง กิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาล 2 แห่ง กิจกรรมซักรีดในโรงแรมขนาด 200 ห้อง 1 แห่งและโรงงานซักรีด 1 แห่ง แล้วทำการสอบถาม สัมภาษณ์โดยใช้แบบสอบถามที่กำหนดไว้ (ดูภาคผนวก ค.) พร้อมทั้งเยี่ยมชมกิจกรรมซักรีดและสังเกตการณ์ เพื่อรวบรวมข้อมูลของลักษณะกิจกรรมและวิธีดำเนินการซักรีด การใช้น้ำ การใช้สารซักฟอก ฯลฯ ซึ่งมีผลต่อการเกิดปริมาณมลพิษต่างๆ ในน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด

1.2 ตรวจสอบและวิเคราะห์ปริมาณและลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของน้ำเสียจากกิจกรรมการซักรีดประเภทต่างๆ ทั้งนี้การศึกษาปริมาณน้ำใช้ที่เกิดขึ้นได้วิเคราะห์โดยประมาณการการใช้น้ำที่เข้าสู่กระบวนการซักรีดทั้งหมดในแต่ละวัน ในส่วนของปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้วิเคราะห์โดยการคำนวณปริมาณน้ำเสียโดยคิดจากร้อยละ 90 ของปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดในแต่ละวันจากกิจกรรมซักรีดแต่ละประเภท สำหรับการศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของน้ำเสียได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบ Grab Sample จากแต่ละขั้นตอนของรอบการซักและนำมาผสมกันเพื่อให้ได้เป็น Composite Sample ของน้ำเสียซึ่งเป็นน้ำรวมจากแต่ละขั้นตอนของรอบการซัก การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียดำเนินการโดยการเก็บมาจากตัวแทนของกิจกรรมซักรีดของแต่ละประเภทมาอย่างละ 1 แห่งที่ได้เข้าเยี่ยมชมและสัมภาษณ์ ซึ่งตัวแปรคุณภาพน้ำที่ศึกษาและวิธีการตรวจวิเคราะห์แสดงไว้ในตาราง 2

ตาราง 2 ตัวแปรคุณภาพน้ำและวิธีวิเคราะห์

ตัวแปรคุณภาพน้ำ	วิธีการวิเคราะห์*
pH	pH Meter
Turbidity	Turbidimeter
Alkalinity	Indicator Titrimeter Method
Suspended Solids (SS)	Gravimetric Method
Total Dissolved Solids (TDS)	Gravimetric Method
BOD_5	Azide Modification Method
COD	Dichromate Reflux Method
Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	Kjeldahl Method
Total Phosphorus (TP)	Colorimetric Method (Ascorbic Method)
Surfactant	Methylene Blue Active Substances
Coliform Bacteria	Multiple Tube Fermentation Technique
Fecal Coliform Bacteria	Multiple Tube Fermentation Technique

หมายเหตุ * : ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามที่ระบุใน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 1992)

2.การศึกษาหาวิธีการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียซึ่งเกิดจากกิจกรรมซักรีดด้วยวิธีการบำบัดทางฟิสิกส์-เคมี

กำหนดรูปแบบของระบบบำบัดน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด ภายใต้การบำบัดด้วยวิธีทางเคมี-ฟิสิกส์ และทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อตรวจดูถึงประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย โดยมุ่งเน้นการกำจัดบีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ฟอสฟอรัสทั้งหมด สารลดแรงตึงผิว โคลิฟอร์มแบคทีเรียและฟีคัลโคลิฟอร์ม แบคทีเรีย โดยวิธีทางเคมีใช้กระบวนการโคแอกกูเลชั่น และวิธีทางกายภาพใช้กระบวนการกรองและการตกตะกอน น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำทิ้งจากขั้นตอนการซักฟอกและน้ำรวม (ระหว่างน้ำซักฟอกกับน้ำล้างผ้า) โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากร้านซักรีดภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งแบ่งขั้นตอนการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

2.1 การทดลองโดยวิธีจาร์เทสต์ (Jar Test) เป็นการทดลองเพื่อให้ได้แนวทางของปริมาณสารเคมีที่เหมะสมที่ใช้ในการก่อตัวของตะกอน โดยมีความเร็วรอบและระยะเวลาในการกวนน้ำ ดังนี้ คือ การกวนเร็วจะมีอัตราการกวนเร็วที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที การกวนช้า จะ

มีอัตราการกวนช้าที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที และปล่อยทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นใช้สายยางทำการกาลักน้ำเอาน้ำใสไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีและสารลดแรงตึงผิว โดยมีเงื่อนไขในการทดลอง ดังแสดงใน ตาราง 3

ตาราง 3 เงื่อนไขในการควบคุมการทดลองกระบวนการโคแอกกูเลชั่น โดยใช้เครื่องมือจาร์เทสต์

ชุดการทดลอง	เงื่อนไข	การปรับ pH	พารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจสอบ
A	ทดสอบ Coagulant ประเภทต่างๆ คือ		
	- Alum	ไม่มี	pH Turbidity SS COD Surfactant
	- Cationic Polymer	ไม่มี	
	- Anionic Polymer	ไม่มี	
B	ใช้ Optimum dose ของ Coagulant ที่ได้ผลดีที่สุดจากการทดลองชุด A มาทดสอบ	มี	
C	ทดสอบ Coagulant + Coagulant Aids หรือ ใช้ Coagulant รวมกันมากกว่า 2 ประเภท ได้แก่		
	- Alum + Kaolin	ไม่มี	
	- Alum + Anionic Polymer	ไม่มี	
	- Cationic Polymer + Kaolin	ไม่มี	
	- Cationic Polymer + Anionic Polymer	ไม่มี	

สำหรับรายละเอียดของการทดลองมีดังนี้ คือ

- การทดลองชุด A เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสม (Optimum dose) ของสารก่อตะกอน (Coagulant) ภายใต้พีเอชของน้ำเสียนั้นๆ โดยในการวิจัยครั้งนี้ใช้สารละลายสารส้มมาตรฐาน (Stock Alum Solution) ที่มีความเข้มข้น 100 มก./มล. สารละลายโพลิเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer Solution) ที่มีความเข้มข้น 1 มก./มล. และสารละลายโพลิเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer Solution) ที่มีความเข้มข้น 1 มก./ มล. เป็นสารก่อตะกอน ดำเนินการทดลองที่ปริมาณของสารก่อตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน โดยไม่ได้ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างที่ใช้ทดลอง

- การทดลองชุด B นำผลการทดลองที่ได้จากการทดลอง A เฉพาะปริมาณของสารก่อตะกอนที่เหมาะสม มาทดลองภายใต้การปรับค่าพีเอช ระหว่าง 5 - 8 เพื่อดูผลของค่าพีเอชที่มีต่อการก่อตัวของตะกอนของสารก่อตะกอนนั้นๆ

- การทดลองชุด C เป็นการทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของสารก่อตะกอนรวมกับสารช่วยก่อตะกอน ซึ่งได้แก่ ผงเกาลิน หรือใช้สารเคมีที่อาจเป็นทั้งสารก่อตะกอนและสารช่วยก่อตะกอนรวมกันมากกว่าหนึ่งประเภทเป็นตัวช่วยในการก่อตัวของตะกอน ดำเนินการทดลองที่ปริมาณสารก่อตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆกัน โดยไม่ได้ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

2.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง (Small Scale Experiment) ประกอบด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอน คือการก่อตัวของตะกอน การตกตะกอนและการกรอง โดยมีลักษณะของการทดลอง ดังนี้

2.2.1 การก่อตัวของตะกอน ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การกวนเร็วในถังกวนเร็ว ที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที และการกวนช้าในถังกวนช้า ที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที โดยใช้สารก่อตะกอนที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 2.1 เป็นสารก่อตะกอนในถังกวนเร็วและสารช่วยก่อตะกอนในการรวมตะกอนในถังกวนช้า

2.2.2 การตกตะกอน หลังจากน้ำตัวอย่างผ่านการกวนเร็วและการกวนช้ามาแล้ว จะไหลผ่านเข้ามาในถังตกตะกอน มีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำ (Detention Time) ประมาณ 1 ชั่วโมง

2.2.3 กระบวนการกรอง ใช้การกรองเร็ว ในการบรรจุสารกรองลงในถังกรองทำได้โดยนำทรายหรือแอนทราไซต์ที่ล้างสะอาดใส่ลงในถังจนถึงระดับความสูง 75 ซม. สำหรับการกรองแบบชั้นเดียว ส่วนการกรองแบบสองชั้นมีทรายอยู่ชั้นล่างและถ่านแอนทราไซต์อยู่ชั้นบน โดยมีอัตราส่วนระหว่างชั้นทรายกับแอนทราไซท์เท่ากับ 1:2 การบรรจุสารกรองลงในกระบอกกรองนั้น ทำการบรรจุสารกรองโดยแทนที่น้ำ

การศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง จะศึกษาโดยเดินระบบอย่างต่อเนื่องภายใน 4 ชั่วโมง ของแต่ละการทดลอง เพื่อดูถึงประสิทธิภาพของระบบ โดยมีรายละเอียดของการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองดังแสดงในตาราง 4 ซึ่งทดลองภายใต้เงื่อนไขการทดลอง 3 อย่างที่ต่างกัน คือ

ก. ใช้ประเภทของน้ำเสียต่างกัน โดยน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองจะใช้น้ำตัวอย่างจากขั้นตอนการซักฟอกและน้ำรวม (ระหว่างน้ำซักฟอกกับน้ำล้างผ้า) ผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยทุก 10 นาที จะทำกวนน้ำเสียเป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้น้ำตัวอย่างผสมกันเป็นเนื้อเดียวตลอด

ข. ใช้ประเภทสารกรองต่างกัน โดยศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกรอง 3 แบบ คือ การกรองแบบชั้นเดียวโดยมีทรายหรือถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองเพียงสารเดียวและการกรองแบบสองชั้นโดยใช้ทรายและถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง

ค. ใช้อัตราการกรองต่างกัน ,โดยใช้อัตราการกรอง 1, 2 และ 3 แกลลอน/ตร.ฟุต-นาทีหรือคิดเป็น 41, 81 และ 122 ล/ม.^{2}-นาที โดยที่อัตราการกรอง 81 ล/ม.^{2}-นาที จะทดลองหลังจากเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกรองของสารกรองแต่ละชนิด โดยจะใช้สารกรองที่มีประสิทธิภาพในการกรองที่ดีที่สุดในการทดลอง

ตาราง 4 ข้อมูลในการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

ข้อมูลในการออกแบบ	ค่าในการออกแบบในแต่ละอัตราการกรอง		
	40 ล./ม^2-นาที	81 ล./ม^2- นาที	122 ล./ม^2-นาที
อัตราการไหลของน้ำเข้าระบบ (flow late), ล./นาที	0.186	0.371	0.557
ระยะเวลาเก็บกักในถังกวนเร็ว, นาที	1	1	1
ปริมาตรสุทธิถังกวนเร็ว, ล.	0.186	0.371	0.557
ระยะเวลาเก็บกักในถังกวนช้า, นาที	20	20	20
ปริมาตรสุทธิถังกวนช้า, ล.	3.72	7.42	11.14
ระยะเวลาเก็บกักในถังตกตะกอน, ชม.	1	1	1
ปริมาตรสุทธิถังตกตะกอน, ล.	11.16	22.26	33.42
อัตราน้ำล้นของถังตกตะกอน, มล. / นาที - ตร.ซม.	0.155	0.309	0.464
พื้นที่ผิวของถังกรอง, ตรม.	4.554×10^{-3}	4.554×10^{-3}	4.554×10^{-3}

ส่วนการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง จะพิจารณาจากน้ำก่อนเข้าระบบ น้ำหลังออกจากถังตกตะกอนและน้ำหลังออกจากถังกรอง โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุก 1 ชั่วโมง ติดต่อกันเป็นระยะเวลาต่อเนื่องกัน 4 ชั่วโมง ซึ่งตัวแปรคุณภาพน้ำที่ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบได้แก่ บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ฟอสฟอรัสทั้งหมด สารลดแรงตึงผิว โคลิฟอร์มแบคทีเรียและฟีคัลโคลิฟอร์ม แบคทีเรีย และในระหว่างการทดลองได้ทำการศึกษาเพื่อคำนวนหาปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นและลักษณะพื้นฐานของตะกอน เช่น ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ของแข็งระเหยได้ (Volatile Solids) และของแข็งคงตัว (Fixed Solids) เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในการพิจารณาเบื้องต้นของการกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นด้วย ในกรณีที่มีตะกอนเกิดขึ้นมาก ในขณะทำการทดลองจะกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นโดยการดูดตะกอนออกจากถังตกตะกอนโดยใช้ปั๊ม

สูญญากาศ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาการสูญเสียความดันในถังกรองอีกด้วย และในการเปลี่ยนเงื่อนไขในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้สารกรองที่ทำความสะอาดแล้วทุกครั้ง

3. วิเคราะห์ผลและสรุปผลการวิจัย โดยสรุปถึงข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณและลักษณะของสิ่งเจือปนต่างๆ ในน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดประเภทต่างๆ ตลอดจนขั้นตอนในการดำเนินการซักรีด และประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองที่ทดลอง โดยเปรียบเทียบในรูปของร้อยละของการกำจัดสิ่งเจือปนก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดและหลังออกจากระบบบำบัด นอกจากนี้ได้ทำการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสีย อาทิเช่น ค่าใช้จ่ายจากการใช้สารเคมีและค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่สามารถประมวลและวิเคราะห์ได้จากการทดลอง

บทที่ 3

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาปริมาณและลักษณะสิ่งเจือปนต่าง ๆในน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด

1.1 ผลการศึกษาลักษณะและวิธีดำเนินการซักรีดในแต่ละกิจกรรมซักรีด

จากการศึกษาลักษณะกิจกรรมซักรีด 4 ประเภทในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ได้แก่ ร้านซักรีดทั่วไป กิจกรรมซักรีดภายในโรงพยาบาล กิจกรรมซักรีดภายในโรงแรมและโรงงานซักรีด พบว่า ลักษณะของการดำเนินการของกิจกรรมซักรีดประเภทต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

1.1.1 ลักษณะโดยรวมของกิจกรรมซักรีด

จากการศึกษาพบว่า ลักษณะของกิจกรรมซักรีดแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

ก.1 กิจกรรมซักรีดที่รับจ้างซักอบรีดจากลูกค้า ได้แก่ ร้านซักรีดทั่วไปและโรงงานซักรีด ร้านซักรีดทั่วไปจะดำเนินการรับจ้างซักอบรีดผ้าทุกชนิดจากครัวเรือน การดำเนินการซักใช้เครื่องซักผ้าแบบอัตโนมัติเป็นส่วนใหญ่ ขนาดของเครื่องซักผ้าที่พบมีตั้งแต่ขนาด 5-40 กก. ซึ่งขึ้นอยู่กับการให้บริการของแต่ละร้าน ร้านที่รับบริการซักอบรีดเฉพาะเสื้อผ้าธรรมดาไม่รับซักผ้าชิ้นใหญ่ๆ เช่น ผ้านวม ม่าน ก็จะมีเครื่องซักผ้าขนาดเล็กความจุน้อยๆ เช่น 5-7 กก. ร้านที่ให้บริการซักอบรีดผ้าทั้งชิ้นเล็กและชิ้นใหญ่ ก็จะมีเครื่องซักผ้าทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่มีความจุมากๆ เช่น 10-40 กก. เพิ่มขึ้นมา ส่วนโรงงานซักรีด มีเปิดดำเนินการ 1 แห่ง คือ โรงงานทักษิณซักรีด การดำเนินการจะรับจ้างซักอบรีดจากโรงแรมที่ไม่มีกิจกรรมซักรีดเป็นของตนเอง เช่น โรงแรมพิมาน โรงแรมฮอล์ลิเดย์ เป็นต้น ผ้าที่ซักอบรีดเป็นผ้าที่ใช้ภายในโรงแรมนั้นๆ นอกจากนี้ยังรับจ้างซักอบรีดผ้าจากโรงพยาบาลราษฎร์ยินดีอีกด้วย ผ้าที่รับจากโรงพยาบาล ได้แก่ เสื้อผ้าผู้ป่วย ผ้าปูที่นอน เป็นต้น การซักผ้าใช้เครื่องซักผ้าแบบอัตโนมัติขนาดความจุ 114 กก.(250 ปอนด์) ขนาด 57 กก. (125 ปอนด์)และขนาด 34 กก.(75 ปอนด์) อย่างละ 1 เครื่อง

ก.2 กิจกรรมซักรีดภายในสถานประกอบการ ได้แก่ กิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลและกิจกรรมซักรีดในโรงแรม กิจกรรมซักรีดภายในโรงพยาบาลที่ทำการศึกษา คือ กิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลหาดใหญ่และโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ซึ่งเป็นโรงพยาบาลขนาด 750 เตียง การดำเนินการซักอบรีดจะซักอบรีดเฉพาะผ้าที่ใช้ภายในโรงพยาบาลเท่านั้น เช่น ผ้าปูที่นอน ปลอกหมอน เสื้อผ้าผู้ป่วย เป็นต้น ส่วนกิจกรรมซักรีดภายในโรงแรมนั้น โรงแรมที่ทำการศึกษาข้อมูล คือ โรงแรมลีการ์เดนท์ มีจำนวนห้องพักทั้งหมด 200 ห้อง ซึ่งจัดเป็นโรงแรมขนาดใหญ่ การ

ดำเนินการจะซักอบรีดผ้าทุกชนิดภายในกิจการของโรงแรมเอง เช่น ผ้าปูที่นอน ผ้าห่ม ผ้าเช็ดตัว ผ้าปูโต๊ะ ม่าน เป็นต้น การซักผ้าใช้เครื่องซักผ้าแบบอัตโนมัติทั้งสองกิจกรรม โดยเครื่องซักผ้าของโรงพยาบาลหาดใหญ่มีทั้งหมด 3 เครื่อง ขนาด159 กก. (350 ปอนด์) 1 เครื่อง ขนาด 54.5 กก. (120 ปอนด์) 2 เครื่อง ส่วนเครื่องซักผ้าของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์มีขนาด 182 กก. (400 ปอนด์) 2 เครื่อง ขนาด 91 กก. (200 ปอนด์) 5 เครื่อง รวมทั้งหมด 7 เครื่อง และขนาด 22 กก. จำนวน 4 เครื่อง ในส่วนของกิจกรรมซักรีดภายในโรงแรมลีการ์เดนท์

1.1.2 ขั้นตอนของกระบวนการซักรีด

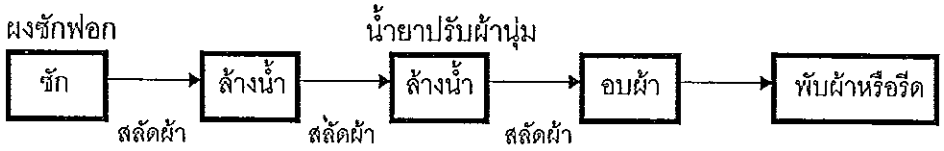
ขั้นตอนของกระบวนการซักรีดของกิจกรรมซักรีดในแต่ละประเภท จะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยจะประกอบด้วยขั้นตอนของการซักผ้า การสลัดผ้าและการล้างน้ำ จะแตกต่างกันบ้างในขั้นตอนของการล้างผ้าและสารเคมีที่ใส่ลงไปในขั้นตอนการซักในแต่ละกิจกรรม(ดังภาพประกอบ 9 (ก.-ง.)) เวลาของรอบการซักในแต่ละกิจกรรมซักรีดจะอยู่ในช่วง 45 - 60 นาที ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการตั้งโปรแกรมขั้นตอนของรอบการซัก ถ้าขั้นตอนของรอบการซักมีหลายขั้นตอน เวลาในรอบของการซักก็จะเพิ่มขึ้น หลังจากขั้นตอนกาซักก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการอบผ้า โดยผู้ประกอบการก็จะนำผ้าไปเข้าตู้อบ เสร็จจากขั้นตอนการอบก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการพับผ้าแล้วรอลูกค้ามารับคืนต่อไป (ดังภาพประกอบ 9 (ก.-ง.)และภาพประกอบ 10-13)

ในเรื่องของการรีดผ้านั้น สำหรับร้านซักรีดทั่วไปจะขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าว่าจะรับบริการด้วยหรือไม่ การรีดก็จะใช้เตารีดผ้าไฟฟ้าหรือเครื่องรีดผ้าขนาดเล็ก ซึ่งในการรีดผ้านั้นจะคิดค่าบริการเพิ่มจากการซักและการอบ ในส่วนการรีดผ้าของกิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลนั้น โรงพยาบาลหาดใหญ่จะไม่มีการรีดผ้า ส่วนโรงพยาบาลสงขลานครินทร์จะรีดเฉพาะผ้าปูที่นอน โดยใช้เครื่องรีดผ้าแบบลูกกลิ้งในการรีด เช่นเดียวกันกับกิจกรรมซักรีดในโรงแรมและโรงงานซักอบรีดซึ่งใช้เครื่องรีดผ้าแบบลูกกลิ้งช่วยในการรีดผ้าเช่นกัน

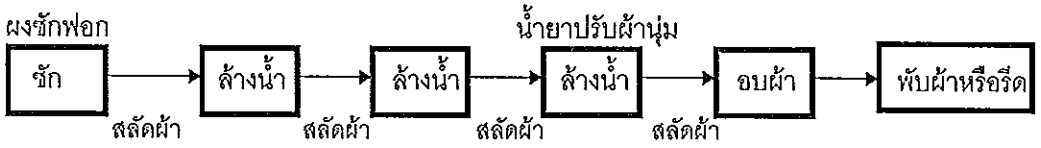
สำหรับร้านซักรีดในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งเป็นตัวแทนในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจะรับจ้างซักอบรีดผ้าทุกชนิดจากนักศึกษาและครัวเรือนภายในมหาวิทยาลัยฯ เช่น ชุดนักศึกษา ผ้าห่ม ผ้าเช็ดตัว ผ้าปูที่นอน เป็นต้น ขั้นตอนของกระบวนการซักผ้าจะประกอบด้วยขั้นตอนของการซัก การสลัดผ้า การล้างน้ำอีก 3 ครั้ง เวลาของรอบการซักประมาณ 60 นาที ส่วนในเรื่องของการรีดนั้นจะขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าว่าจะรับบริการหรือไม่ ซึ่งในการรีดจะคิดค่าบริการเพิ่มจากการซักและอบ (ดังภาพประกอบ 9 (ก.2) และ 10)

ก. ร้านซักรีดโดยทั่วไป

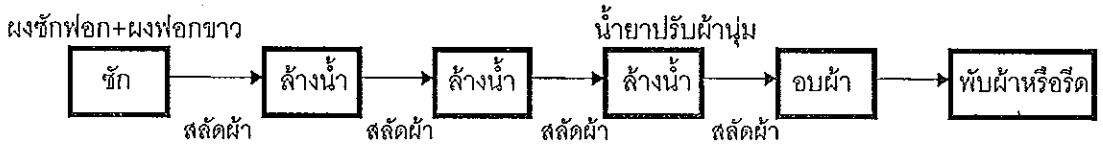
ก.1 ร้านซักรีดทั่วไปบางแห่ง



ก.2 ร้านซักรีดในมอ. และร้านซักรีดโดยทั่วไปบางแห่ง

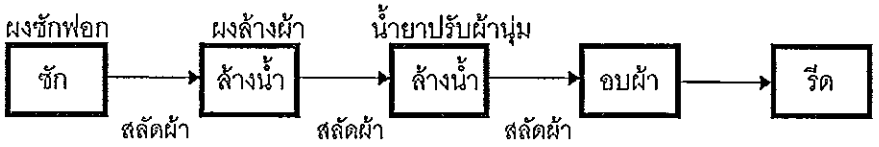


ข. กิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาล

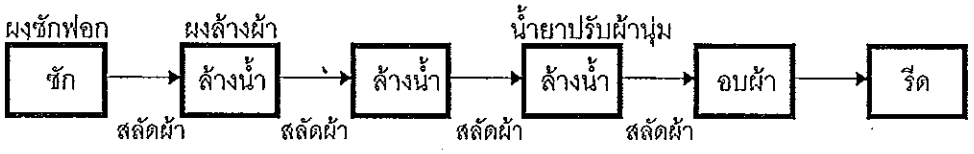


หมายเหตุ : ผ้าที่มีการปนเปื้อนจากเลือดและหนอง จะมีการล้างผ้าและแช่ในน้ำยาฆ่าเชื้อโรค ก่อนที่จะนำไปเข้าเครื่องซักผ้า

ค. กิจกรรมซักรีดในโรงแรม



ง. โรงงานซักอบรีด



หมายเหตุ : - ผ้าที่มาจากโรงพยาบาลและมีการปนเปื้อนจากเลือดและหนองจะมีการล้างผ้าและแช่ด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อโรคก่อนที่จะนำไปเข้าเครื่องซักผ้า

- ผงล้างผ้าเป็นสารเคมีที่ช่วยในการล้างผงซักฟอกและผงฟอกขาวออกจากเนื้อผ้า

ภาพประกอบ 9 รายละเอียดขั้นตอนของกระบวนการซักรีดในกิจกรรมซักรีดแต่ละประเภท (ก.-ง.)

ก.

ข.

ค.

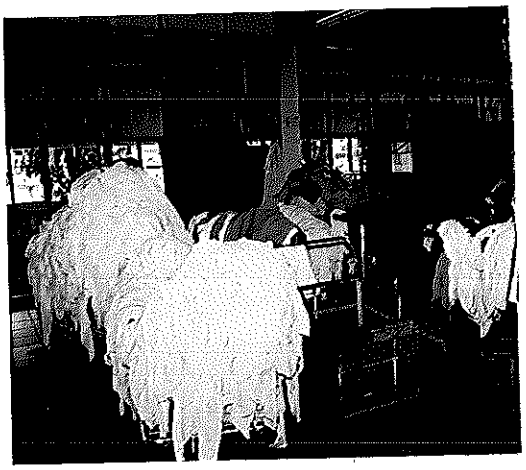
ง.

ภาพประกอบ 10 กระบวนการซักรีดของร้านซักรีดในมหาวิทยาลัยฯ

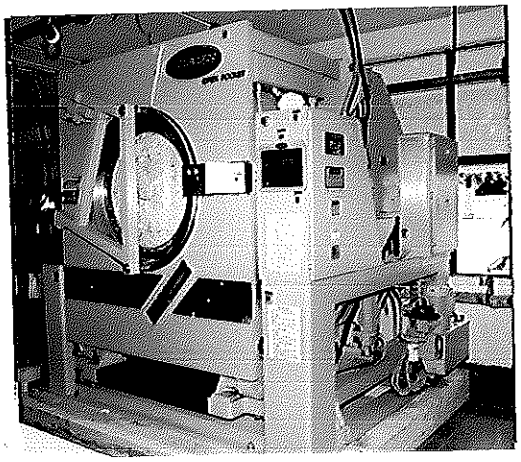
ก. ร้านซักรีดในมหาวิทยาลัยฯ ข. เครื่องซักผ้าขนาด 6.5 กก.

ค. เครื่องอบผ้าขนาด 6 กก. ง. การรีด

ก.

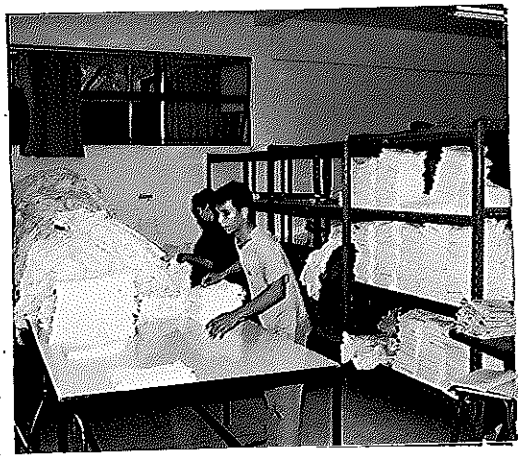


ข.



ค.

ง.

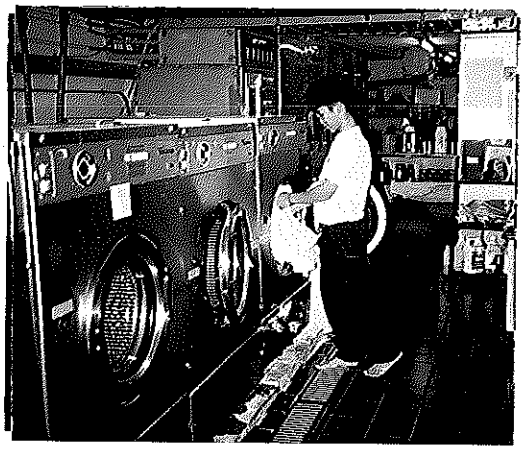


ภาพประกอบ 11 กระบวนการซักอบรีดในโรงพยาบาลหาดใหญ่

ก. ผ้าที่เตรียมซัก ข. เครื่องซักผ้าขณะดำเนินการซัก

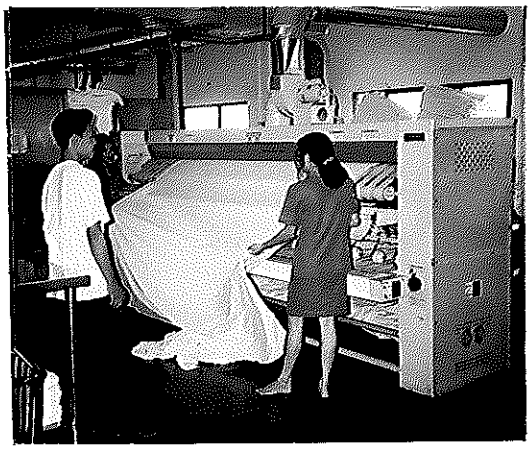
ค. เครื่องอบผ้า ง. การพับผ้าเพื่อรอใช้ต่อไป

ก.



ข.

ค.



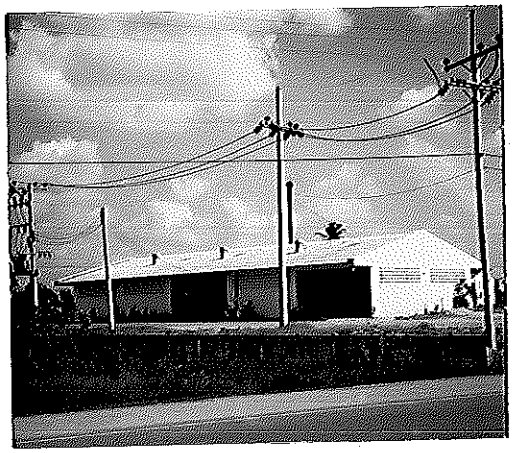
ง.

ภาพประกอบ 12 กระบวนการซักรีดของกิจกรรมซักรีดในโรงแรมลีการ์เดนท์

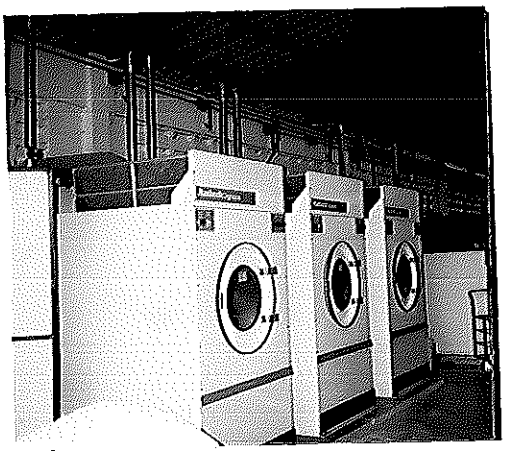
ก. การนำผ้าเข้าเครื่องซัก ข. การอบผ้า

ค. การรีดผ้าปูเตียงโดยใช้เครื่องรีด ง. การพับผ้าเพื่อรอใช้ต่อไป

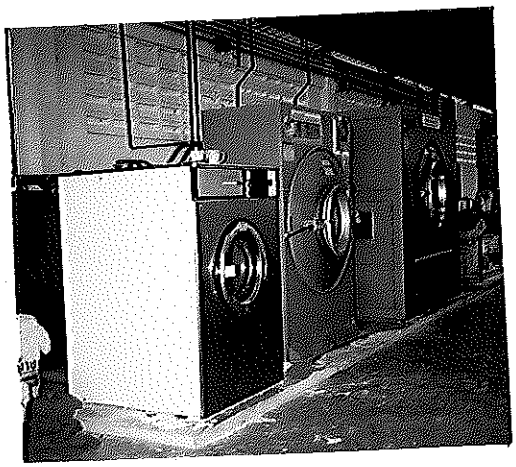
ก.



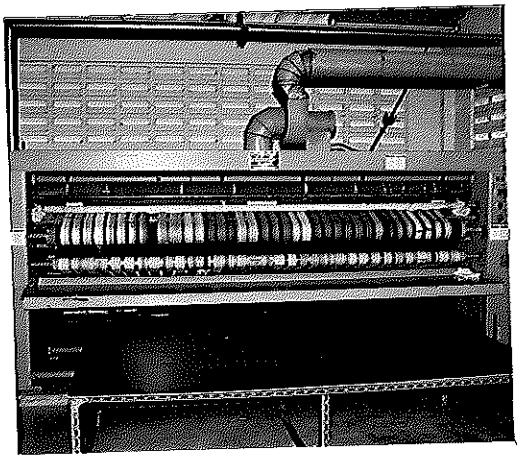
ข.



ค.



ง.



ภาพประกอบ 13 กระบวนการซักรีดของโรงงานทักษิณซักรีด

ก. โรงงานทักษิณซักรีด ข. เครื่องซักผ้าทั้ง 3 ขนาด

ค. เครื่องอบผ้าขณะดำเนินการอบ ง. เครื่องรีดขนาด 2 เมตร

1.1.3 ปริมาณผ้าที่ซักต่อวันในแต่ละกิจกรรมซักรีด

จากการศึกษาพบว่า ปริมาณผ้าที่ซักต่อวันจะแตกต่างกันในแต่ละกิจกรรมซักรีด โดยปริมาณผ้าที่เกิดขึ้นจากร้านซักรีดทั่วไป ร้านซักรีดภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลหาดใหญ่ ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ในโรงแรมและโรงงานทักษิณซักรีด มีค่าประมาณและอยู่ในช่วง 25-280 กก./วัน, 150 กก./วัน, 3,300 กก./วัน, 4,000 กก./วัน, 1,120-1,200 กก./วันและ 1,480 กก./วัน ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าปริมาณผ้าที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับกิจกรรมซักรีดแต่ละแห่ง จำนวนของผู้มาใช้บริการและการให้บริการของผู้ประกอบการ เช่น โรงพยาบาล โรงแรม เมื่อมีผู้มาใช้บริการจำนวนมากย่อมมีจำนวนผ้าที่เกิดขึ้นในปริมาณมาก โรงงานซักรีดและร้านซักรีดทั่วไปที่มีการให้บริการและการดำเนินการที่ดีย่อมส่งผลถึงจำนวนลูกค้าและปริมาณผ้าที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

1.1.4 แหล่งน้ำใช้และปริมาณน้ำใช้ของกิจกรรมซักรีด

จากการศึกษาแหล่งน้ำใช้ของกิจกรรมซักรีด พบว่า มีทั้งมาจากแหล่งน้ำประปาและน้ำบาดาล กิจกรรมซักรีดที่ใช้น้ำประปาในการดำเนินการ ได้แก่ ร้านซักรีดทั่วไปในเขตเทศบาล กิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลหาดใหญ่และโรงแรมลีการ์เดนท์ นอกจากนั้นกิจกรรมซักรีดภายในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์และร้านซักรีดภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ก็ใช้น้ำประปาที่ผลิตขึ้นเองโดยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ส่วนกิจกรรมซักรีดที่ใช้น้ำบาดาลในการดำเนินการได้แก่ ร้านซักรีดโดยทั่วไปในเขตเทศบาลที่ไม่มีระบบประปาและโรงงานทักษิณซักรีด และจากการศึกษาปริมาณการใช้น้ำในแต่ละวันของกิจกรรมซักรีด พบว่า ร้านซักรีดทั่วไป ร้านซักรีดในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลหาดใหญ่ ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ในโรงแรมลีการ์เดนท์ และโรงงานทักษิณซักรีด มีปริมาณการใช้น้ำต่อวันประมาณวันละ 0.6-2.7 ม.^{3}, 1.65 ม.^{3}, 40.21 ม.^{3}, 59.4 ม.^{3}, 16.8-18.0 ม.^{3} และ 28.8 ม.^{3} ตามลำดับ

1.1.5 การบำบัดน้ำทิ้งและการหมุนเวียนน้ำทิ้งมาใช้ใหม่ในแต่ละกิจกรรมซักรีด

จากการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีดทุกประเภท พบว่า น้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีดมีทั้งที่ปล่อยลงสู่คูระบายน้ำสาธารณะโดยไม่ผ่านการบำบัดน้ำเสียเลยและที่ผ่านการบำบัดน้ำเสีย ในส่วนน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่คูระบายน้ำสาธารณะโดยไม่ผ่านการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ น้ำทิ้งจากร้านซักรีดทั่วไปทั้ง 19 แห่ง และน้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีดภายในโรงแรม ส่วนน้ำทิ้งที่ผ่านขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่คูระบายน้ำสาธารณะ ได้แก่ น้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีดภายในโรงพยาบาลหาดใหญ่ โรงพยาบาลสงขลานครินทร์และโรงงานทักษิณซักรีด โดยน้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลจะผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลเอง ซึ่งเป็นระบบคลอง

วนเวียน (Oxidation Ditch) ในโรงพยาบาลหาดใหญ่ และแบบระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ส่วนน้ำทิ้งจากโรงงานซักรีดจะผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบจานชีวภาพ (Rotating Biological Contactor : RBC) บำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยทิ้งลงสู่คูระบายน้ำสาธารณะต่อไป

ในส่วนการนำน้ำมาหมุนเวียนใช้ใหม่นั้นจากการศึกษากิจกรรมซักรีดทั้งหมด พบว่า มีเพียงร้านซักรีดทั่วไป 1 แห่ง ที่มีการนำน้ำทิ้งจากกระบวนการซักรีดมาหมุนเวียนใช้ใหม่ โดยการนำมาใช้ทำความสะอาดบ้าน

1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณและลักษณะทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดประเภทต่างๆ

ปริมาณน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นต่อผ้าที่ซัก 1 กก. และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับกิจกรรมซักรีดแต่ละแห่ง จำนวนของผู้มาใช้บริการในกิจกรรมซักรีดนั้นๆ กิจกรรมซักรีดใดที่มีผู้มาใช้บริการมาก จำนวนผ้าที่ซักย่อมมีในปริมาณมากส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ใช้และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมซักรีดมีปริมาณมากเช่นเดียวกัน ขนาดของเครื่องซักผ้าและการตั้งโปรแกรมของขั้นตอนการซักก็มีผลต่อปริมาณน้ำทิ้งที่เกิดขึ้น โดยจำนวนน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของกิจกรรมซักรีด คิดได้จากร้อยละ 90 ของน้ำใช้ทั้งหมด ซึ่งเป็นน้ำทิ้งที่ผ่านขั้นตอนของการสลัดผ้าจากกระบวนการซัก พบว่า ร้านซักรีดทั่วไป ร้านซักรีดในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลหาดใหญ่ ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ในโรงแรมลีการ์เดนท์และโรงงานทักษิณซักรีดมีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นประมาณวันละ 0.58-2.43 ม.^{3},1.48 ม.^{3}, 39.81 ม.^{3}, 58.81 ม.^{3}, 16.63-17.82 ม.^{3} และ 28.51 ม.^{3} ตามลำดับ และเมื่อคิดปริมาณน้ำเสียต่อผ้า 1 กก. จะมีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นเท่ากับ 10.35-22.14 , 9.90 ,11.88 , 12.02 , 12.27 และ 15.81-16.05 ล./กก. ตามลำดับ (ดังแสดงในตาราง 5)

ตาราง 5. ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันและต่อผ้า 1 กก. จากกิจกรรมซักรีดแต่ละประเภท

ปริมาณน้ำเสีย	ร้านซักรีดทั่วไป	ร้านซักรีดในมอ.	โรงพยาบาล		โรงแรม	โรงงานซักรีด
			หาดใหญ่	มอ.		
ต่อวัน (ม.^{3}/วัน)	0.58 - 2.43	1.48	39.81	58.81	16.63-17.82	28.51
ต่อผ้า 1 กก.(ล.)	10.35-22.14	9.90	11.88	12.02	12.27	15.81-17.83

ผลการศึกษาลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมซักรีดแต่ละประเภท พบว่า มีค่า pH, BOD_5, COD, Turbidity, SS, Alkalinity, TDS, TP, TKN, NH_3-N, Coliform Bacteria และ Fecal Coliform bacteria สำหรับน้ำซักผ้าและน้ำรวม (ดังแสดงในตาราง 6) อยู่ในช่วง 8.76-10.25, 184-492 มก./ล., 376-993มก./ล., 82-260 NTU,100-323 มก./ล.,261-684 มก./ล., 1,546- 2,781 มก./ล., 14.17-19.70 มก./ล., 5.50-8.90 มก./ล., 0.34-3.84 มก./ล., 0-110,000 MPN/100 ml และ 0-46,000 MPN/100 ml ตามลำดับ ส่วนน้ำรวมมีค่าอยู่ในช่วง 7.25-9.00, 116-346 มก./ล., 197-615 มก./ล., 52-210 NTU, 47-115 มก./ล., 132-322 มก./ล., 860-1,794 มก./ล., 9.01-16.67 มก./ล., 3.36-7.11 มก./ล., 0.22-2.04 มก./ล., 20-110,000 MPN/100 ml และ 20-21,000 MPN/100 ml ตามลำดับ

ตาราง 6 ลักษณะทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดประเภทต่างๆ

ตัวแปรคุณภาพน้ำ	ร้านซักรีดทั่วไป		ร้านซักรีดในมอ.		โรงพยาบาล		โรงแรม		โรงงานซักรีด	
	น้ำซัก	น้ำรวม	น้ำซัก	น้ำรวม	น้ำซัก	น้ำรวม	น้ำซัก	น้ำรวม	น้ำซัก	น้ำรวม
pH	9.94	8.4	8.76	7.25	10.25	7.85	9.86	9.00	9.63	7.85
Temperature (°C)	24.8	26.0	28.0	28.0	28	28	60	28.0	67	28
Turbidity (NTU)	210	58	260	174	87	55	82	52	260	210
BOD_5 (mg /L)	254	116	492	346	315	161	184	122	260	125
COD (mg /L)	651	320	993	615	575	279	376	197	521	324
Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	629	322	561	232	261	132	684	229	550	241
SS (mg /L)	227	67	323	115	168	50	100	47	110	85
TDS (mg /L)	1,581	1,005	1,546	860	1,646	970	2,400	1,794	2,781	1,702
TP (mg /L)	14.17	9.01	19.68	16.60	19.70	16.67	15.42	12.11	15.53	12.32
NH_3- N (mg /L)	1.80	1.50	1.50	0.70	1.48	0.7	0.34	0.22	3.84	2.04
TKN (mg /L)	5.50	5.30	8.90	7.10	8.87	7.11	8.04	4.42	6.44	3.36
Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	80	80	110,000	110,000	40	20	0	24,000	0	24,000
FecalColiform Bac.(MPN/100 ml)	70	80	46,000	21,000	40	20	0	9,400	0	7,900

เมื่อสังเกตลักษณะของน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดแต่ละประเภท พบว่า ค่า BOD_5, COD, SS และ TDS จากคุณภาพน้ำทิ้งของร้านซักรีดทั่วไปจะมีค่าเกินค่ามาตราฐานน้ำทิ้งชุมชน ส่วนโรงงานอุตสาหกรรม กิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลและในโรงแรม ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมซักรีดขนาดใหญ่จะ

มีค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดังกล่าวข้างต้นเกินค่ามาตราฐานน้ำทิ้งของโรงงานเช่นกัน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสียเหล่านี้ ในส่วนค่าของตัวแปรคุณภาพน้ำที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในแต่ละกิจกรรมซักรีด เช่น ค่า BOD_5, COD, Turbidity, SS, Coliform Bacteria หรือ Fecal Coliform Bacteria นั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน เช่น จำนวนและความสกปรกของผ้าที่ซัก การใช้สารเคมีที่แตกต่างกันในกระบวนการซัก ประสิทธิภาพในการซักหรือแรงปั่นของเครื่องซักผ้า ปริมาณน้ำที่เข้าสู่เครื่องซักผ้าในแต่ละขนาดและยี่ห้อ การตั้งโปรแกรมการซักของผู้ประกอบการและการใช้น้ำร้อนหรือน้ำเย็นในการซัก เป็นต้น ส่วนค่า TP, TKN, และ NH_3-N พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน อนึ่งในน้ำตัวอย่างซึ่งเป็นน้ำซักผ้าของกิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลหาดใหญ่และในโรงแรมลีการ์เดนท์ที่ไม่สามารถตรวจพบ Coliform Bacteria หรือ Fecal Coliform Bacteria ได้นั้น เป็นเพราะกิจกรรมซักรีดดังกล่าวมีการใช้สารฟอกขาวซึ่งเป็นสารประกอบจำพวกคลอรีนในขั้นตอนของการซัก ซึ่งสารประกอบคลอรีนนี้จะมีผลในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียและการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60-67 °ซ ในขั้นตอนการซักก็อาจมีผลต่อ แบคทีเรียเช่นกัน

2.ผลการศึกษาหาวิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียซึ่งเกิดจากกิจกรรมซักรีดด้วยวิธีบำบัดทางฟิสิกส์-เคมี

2.1 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อตะกอนที่เหมาะสมโดยวิธีจาร์เทสต์

2.1.1 การทดลองหาความเหมาะสมโดยใช้สารเคมีเพียง 1 ชนิด เป็นสารก่อตะกอน

การทดลองได้ใช้สารส้ม สารโพลิเมอร์ประจุบวกและสารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารก่อตะกอน น้ำเสียตัวอย่างเป็นน้ำเสียจากขั้นตอนการซักและน้ำเสียรวม (ระหว่างน้ำซักผ้าและน้ำล้างผ้า) ทำการทดลองโดยไม่มีการปรับพีเอชของน้ำเสียตัวอย่างพบว่า ประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำจะแตกต่างกันตามชนิดของสารก่อตะกอน โดยได้ทำการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำก่อนและหลังดำเนินการทดลอง ดังมีรายละเอียดของผลการทดลอง ดังนี้

ก. การทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า

ก.1 การทดลองเมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอน ในช่วงความเข้มข้น 625-4,000 มก./ล. พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมของสารส้มเท่ากับ 2,000 มก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 1,474 มก./ล. เหลือ 329 มก./ล. ค่าความขุ่นจาก 280 NTU เหลือ 8 NTU ค่าของแข็งแขวนลอยจาก 320 มก./ล. เหลือ 6.66 มก./ล. และค่าสารลดแรงตึงผิวจาก 1.25 มก./ล. เหลือ 1.13 มก./ล. (ดังตาราง 7) เมื่อคิดเป็นร้อยละในการลดค่าซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและสารลดแรงตึงผิว พบว่าลดได้ร้อยละ 77.7 , 97.1 , 98.0 และ 9.5 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 14)) เมื่อสังเกตค่าพีเอช

ในตาราง 7 พบว่า ค่าพีเอชของน้ำเสียดิบซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.88 จะลดลงตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนพีเอชเท่ากับ 3.25 ที่ปริมาณสารส้ม 4,000 มก./ล. ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายสารส้มจะให้สารละลาย $Al(H_2O)_6^{+3}$ ซึ่งแตกตัวให้ H^+ ทำให้น้ำเสียมีค่าพีเอชต่ำลง ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการทดลองจะมีลักษณะเป็นปุยขนาดเล็กๆ สีเทาจมตัวอยู่ที่ก้นของบิ๊กเกอร์ เมื่อสัมผัสดูจะยุ่ย และมีน้ำหนักเบา เมื่อวัดระดับปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลองจากก้นบิ๊กเกอร์ถึงระดับผิวบนของชั้นตะกอน พบว่า ระดับปริมาณตะกอนจะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้น (ดังภาพประกอบ 15)

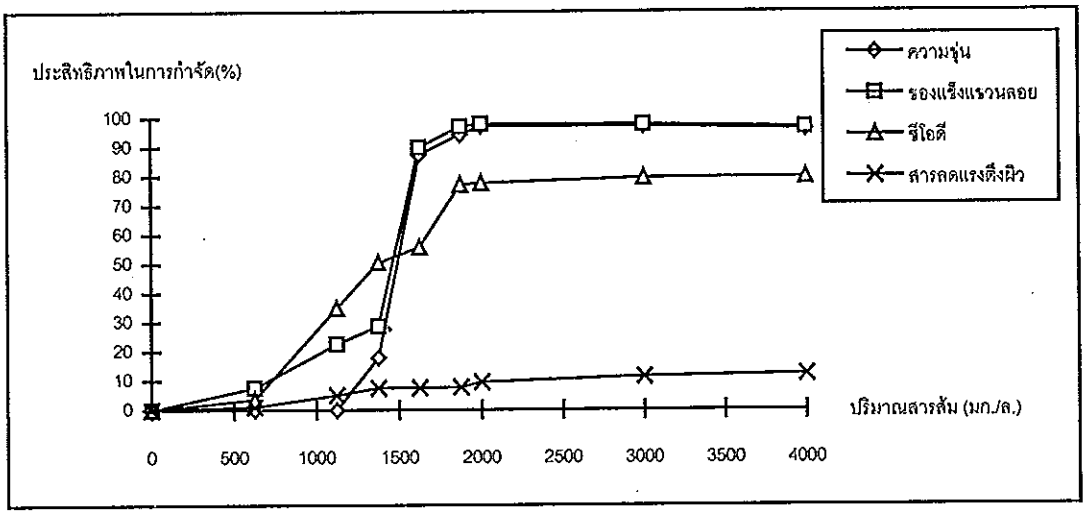
ก.2 การทดลองเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารก่อตะกอน ทำการทดลองในช่วงความเข้มข้น 20-100 มก./ล. พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมในการก่อตะกอนเท่ากับ 20 มก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 1,376 มก./ล. เหลือ 1,122 มก./ล. ค่าความขุ่นจาก 250 NTU เหลือ 210 NTU ค่าของแข็งแขวนลอยจาก 332 มก./ล. เหลือ 156 มก./ล. และสารลดแรงตึงผิวจาก 1.48 มก./ล. เหลือ 1.02 มก./ล. (ดังตาราง 8) คิดเป็นร้อยละในการลดค่าซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย และสารลดแรงตึงผิวได้ร้อยละ 18.5 , 16.0 , 53.0 และ 6.4 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 16) และเมื่อสังเกตค่าพีเอชในตาราง 8 พบว่า ค่าพีเอชของน้ำเสียดิบเท่ากับ 9.38 ไม่ว่าจะเพิ่มปริมาณสารโพลิเมอร์ประจุบวกลงไปเท่าใด ค่าพีเอชของน้ำเสียในการทดลองจะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยค่าพีเอชของน้ำเสียจะมีค่าอยู่ในช่วง 9.32-9.34 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณของสารโพลิเมอร์ประจุบวกไม่มีผลต่อค่าพีเอชของน้ำเสีย ส่วนตะกอนที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกันแน่นเป็นก้อนสีดำขนาดใหญ่ เมื่อสัมผัสดูมีลักษณะเหนียวหนืด มีน้ำหนักมากกว่าตะกอนของสารส้ม เนื่องมาจากสารโพลิเมอร์ประจุบวกมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีการก่อตะกอนคล้ายสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ จึงทำให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่กว่าตะกอนของสารส้ม ขนาดของก้อนตะกอนจะมีขนาดโตขึ้นตามปริมาณสารโพลิเมอร์ประจุบวกที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน (ดังภาพประกอบ 17)

ก.3 การทดลองเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารก่อตะกอนนั้น ทำการทดลองที่ความเข้มข้น 1 และ 5 มก./ล. พบว่า ทั้งสองความเข้มข้นไม่สามารถลดค่าซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและสารลดแรงตึงผิวได้ โดยค่าตัวแปรคุณภาพน้ำเหล่านี้ยังมีค่าคงเดิม เว้นค่าซีโอดีที่มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากสารโพลิเมอร์เป็นสารอินทรีย์จึงอาจมีผลทำให้ค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นได้และสารโพลิเมอร์ประจุลบยังไม่มีผลต่อพีเอชของน้ำเสียตัวอย่างเช่นเดียวกับสารโพลิเมอร์ประจุบวก โดยค่าพีเอชหลังจากใส่สารโพลิเมอร์ประจุลบลงไปมีค่าเท่ากับค่าพีเอชของน้ำเสียดิบเริ่มต้น โดยมีค่าเท่ากับ 9.75 (ดังแสดงในตาราง 9) นอกจากนี้สารโพลิเมอร์ประจุลบยังไม่มีผลในการก่อตะกอนอีกด้วย เนื่องจากสารโพลิเมอร์ประจุลบมีประจุลบเหมือนกับอนุภาคในน้ำเสียที่ใช้ในการ

ทดลอง จึงเกิดแรงผลักระหว่างประจุของอนุภาคคอลลอยด์ การรวมตะกอนจึงไม่เกิดขึ้น

ตาราง 7 คุณภาพน้ำซักผ้าจากการทดลองจาร์เทสต์ เมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอน

ปริมาณสารก่อตะกอน (มก./ล.)	pH หลังเติมสารก่อตะกอน	ความขุ่น (NTU)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	สารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)
0	9.88	280	320	1,474	1.25
625	7.49	300	296	1,421	1.24
1,125	6.34	300	248	961	1.19
1,375	5.51	230	228	731	1.16
1,625	4.64	35	32	652	1.16
1,875	4.14	16	9.33	330	1.16
2,000	3.79	8	6.66	329	1.13
3,000	3.35	8	7.50	302	1.11
4,000	3.25	11	10.50	297	1.10

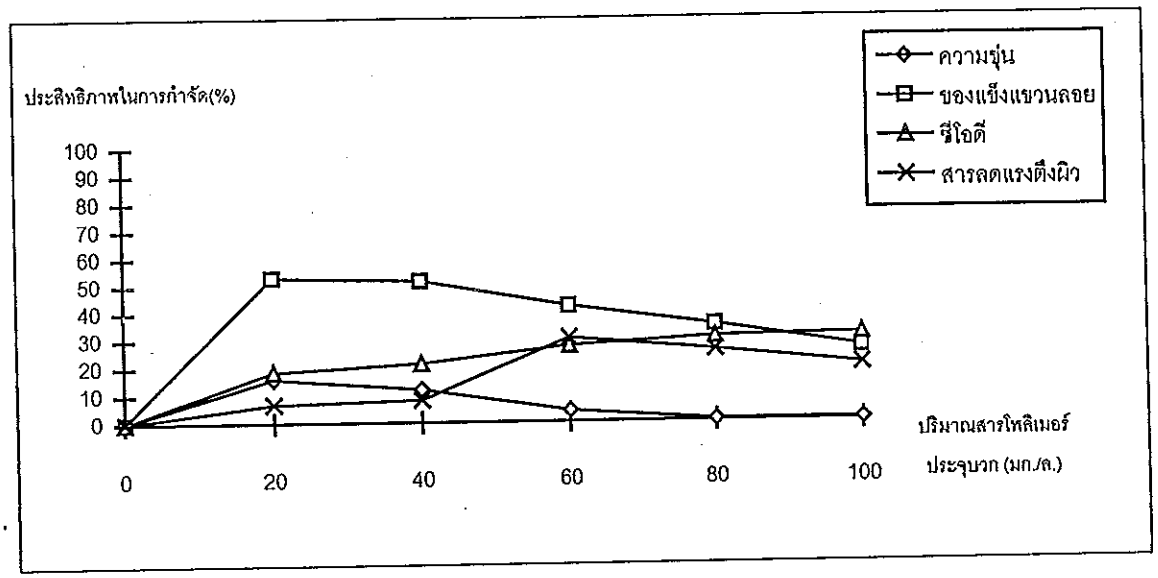


ภาพประกอบ 14 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนในน้ำซักผ้าจากการทดลองจาร์เทสต์

ภาพประกอบ 15 ลักษณะน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอน จากการทดลองจาร์เทสต์

ตาราง 8 คุณภาพน้ำซักผ้าจากการทดลองจาร์เทสต์ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารก่อตะกอน

ปริมาณสารก่อตะกอน (มก./ล.)	pH ภายหลังเติมสารก่อตะกอน	ความขุ่น (NTU)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	สารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)
0	9.38	250	332	1376	1.48
20	9.34	210	156	1122	1.38
40	9.33	220	160	1082	1.36
60	9.32	240	192	997	1.03
80	9.32	249	216	957	1.10
100	9.32	249	244	945	1.18



ภาพประกอบ 16 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารก่อตะกอนในน้ำซักผ้า จากการทดลองจาร์เทสต์

ภาพประกอบ 17 ลักษณะน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์

ตาราง 9 ประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารก่อตะกอนในน้ำซักผ้า จากการทดลองจาร์เทสต์

ปริมาณสารก่อตะกอน (มล./ล.)	pH ภายหลังเติมสารก่อตะกอน	ความขุ่น (NTU)		ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		ซีโอดี (มก./ล.)		สารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)	
		ค่า	%Remove	ค่า	%Remove	ค่า	%Remove	ค่า	%Remove
0	9.75	180	-	212	-	726	-	1.62	-
1	9.75	180	0	212	0	730	0	1.62	0
5	9.73	180	0	210	0.9	746	0	1.62	0

ข. การทดลองโดยใช้น้ำรวม

ข.1 การทดลองเมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอน ในช่วงความเข้มข้น 250-2,500 มก./ล. พบว่า มีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 1,375 มก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 768 มก./ล. เหลือ 162 มก./ล. ความขุ่นจาก 180 NTU เหลือ 3.4 NTU ของแข็งแขวนลอยจาก 224 มก./ล. เหลือ 1.33 มก./ล. และค่าสารลดแรงตึงผิวจาก 1.49 มก./ล. เหลือ 1.02 มก./ล. (ดังตาราง 10) และเมื่อคิดเป็นร้อยละในการลดค่าซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและสารลดแรงตึงผิว พบว่าลดได้ร้อยละ 78.9, 98.1 , 99.4 และ 31.7 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 18) สำหรับค่าพีเอชของน้ำเสียก็ลดลงตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองในน้ำซักผ้า โดยที่พีเอชของน้ำเสียดิบเท่ากับ 8.33 ลดลงเหลือ 3.29 ที่ปริมาณสารส้ม 2,500 มก./ล. ลักษณะตะกอนและปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเช่นเดียวกับปริมาณและลักษณะตะกอนในการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า แต่ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณน้อยกว่าในน้ำซักผ้า เนื่องจากในน้ำเสียรวมมีความเข้มข้นของสิ่งเจือปนต่างๆ ทั้งสารแขวนลอยและคอลลอยด์น้อยกว่าในน้ำซักผ้า นอกจากนี้ปริมาณสารส้มที่ใช้ในการทดลองยังมีปริมาณที่น้อยกว่าด้วย

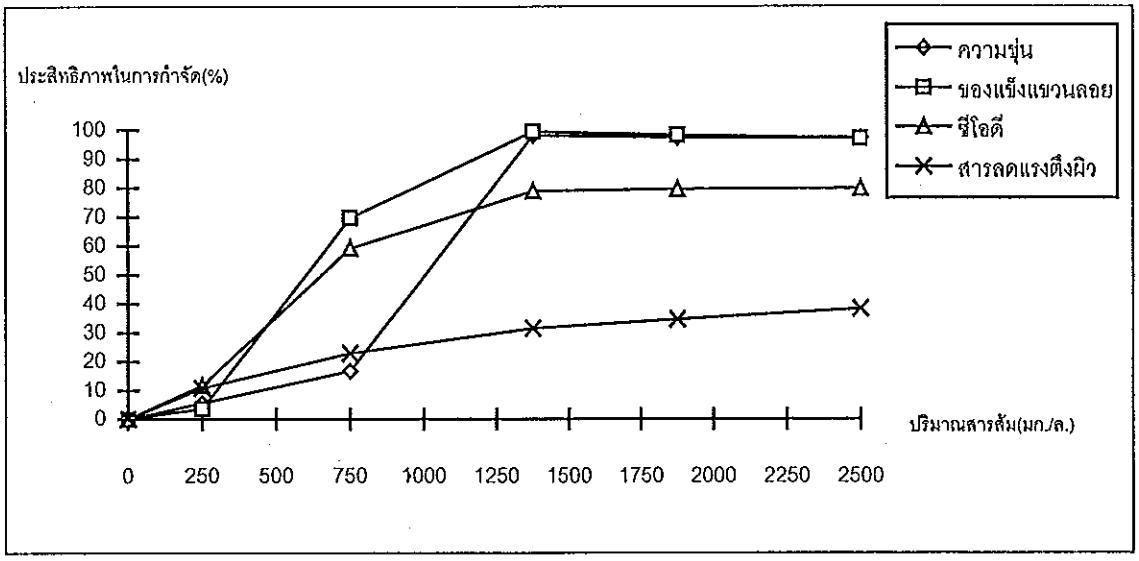
ข.2 การทดลองเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารก่อตะกอน ในช่วงความเข้มข้น 20-100 มก./ล. พบว่า มีปริมาณที่เหมาะสมเท่ากับ 20 มก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 768 มก./ล. ลงเหลือ 605 มก./ล. ค่าความขุ่นจาก 180 NTU เหลือ 140 NTU ค่าของแข็งแขวนลอยจาก 224 มก./ล. เหลือ 124 มก./ล. และสารลดแรงตึงผิวจาก 1.49 มก./ล. เหลือ 1.34 มก./ล. (ดังตาราง 11) คิดเป็นร้อยละในการลดค่าซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและสารลดแรงตึงผิวได้ร้อยละ 21.2, 22.2 , 44.6 และ 10.1 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 20) สำหรับค่าพีเอช พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยค่าพีเอชของน้ำเสียดิบเท่ากับ 8.33 เมื่อเติมสารโพลิเมอร์ประจุบวกลงไป จะมี

ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.98-8.07 ในส่วนของตะกอนจะมีลักษณะคล้ายกับตะกอนที่ได้จากการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า แต่ตะกอนจะรวมตัวกันมีขนาดเล็กและน้ำหนักน้อยกว่า อันเนื่องมาจากในน้ำรวมจะมีความเข้มข้นของสิ่งเจือปนต่างๆ รวมทั้งสารแขวนลอยและคอยลอยด์น้อยกว่าในน้ำซักผ้า

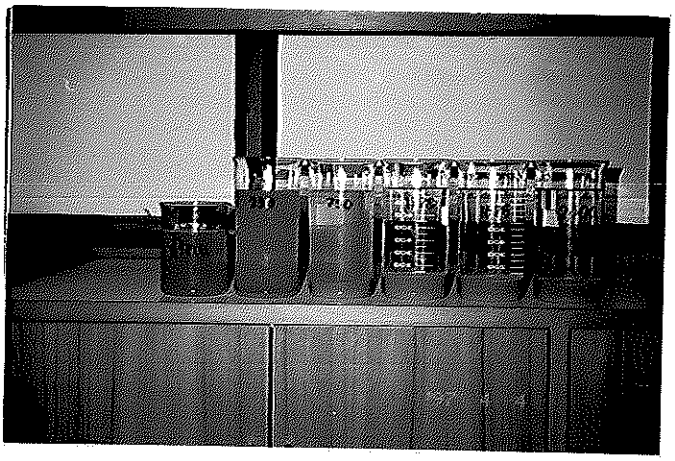
ข.3 การทดลองเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารก่อตะกอน ผลการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพในการการก่อตะกอนและลดค่าซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและสารลดแรงตึงผิว รวมทั้งการคงตัวของค่าพีเอชในน้ำเสีย จะเหมือนกับการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า โดยมีค่าพีเอชของน้ำเสียดิบเริ่มต้นเท่ากับ 8.13 เมื่อเติมสารโพลิเมอร์ประจุลบลงไปจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 8.11 (ดังแสดงในตาราง 12)

ตาราง 10 คุณภาพน้ำรวมเมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนในปริมาณต่างๆ จากการทดลองจาร์เทสต์

ปริมาณสาร (มก./ล.)	pH ภายหลังเติมสารก่อตะกอน	ความขุ่น (NTU)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	สารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)
0	8.33	180	224	768	1.49
250	7.12	170	216	679	1.33
750	5.56	50	68	314	1.15
1375	3.47	3.4	1.33	162	1.02
1875	3.33	4.80	4	157	0.98
2500	3.29	4.80	6.66	155	0.92



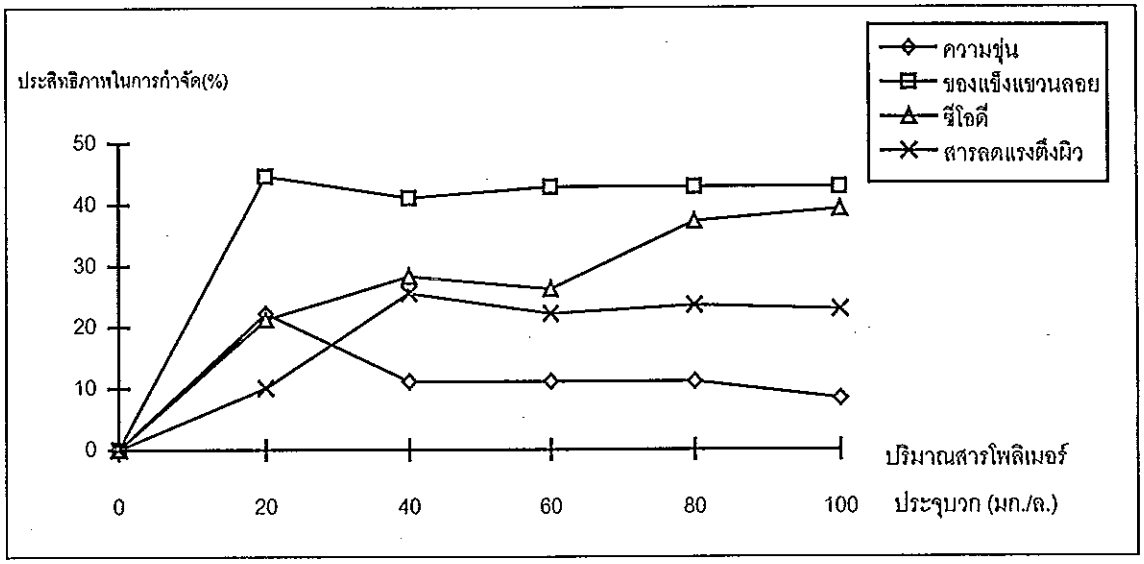
ภาพประกอบ 18 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนในน้ำรวมจากการทดลองจาร์เทสต์



ภาพประกอบ 19 ลักษณะน้ำรวมเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์

ตาราง 11 คุณภาพน้ำรวมจากการทดลองจาร์เทสต์ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารก่อตะกอน

ปริมาณสาร (มก./ล.)	pH ภายหลังเติมสารก่อตะกอน	ความขุ่น (NTU)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	สารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)
0	8.33	180	224	768	1.49
20	8.07	140	124	605	1.34
40	7.98	160	132	551	1.11
60	7.98	160	128	567	1.16
80	8.05	160	128	482	1.14
100	8.03	165	128	467	1.15



ภาพประกอบ 20 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารก่อตะกอนในน้ำรวม จากการทดลองจาร์เทสต์

ภาพประกอบ 21 ลักษณะน้ำรวมเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอน จากการทดลองจาร์เทสต์

ตาราง 12 ประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารก่อตะกอนในน้ำรวม จากการทดลองจาร์เทสต์

ปริมาณสารก่อตะกอน (มก./ล.)	pH	ความขุ่น (NTU)		ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		ซีโอดี (มก./ล.)		สารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)	
		ค่า	%Remove	ค่า	%Remove	ค่า	%Remove	ค่า	%Remove
0	8.13	170	-	230	-	393	-	1.15	-
1	8.11	170	0	230	0	391	0	1.15	0
5	8.11	170	0	240	0	389	1.0	1.14	0.9

ค. สรุปผลการทดลองการใช้สารเคมีเพียงชนิดเดียวเป็นสารก่อตะกอน

จากผลการทดลองจาร์เทสต์ โดยใช้สารเคมีทั้ง 3 ชนิด เป็นสารก่อตะกอน ทั้งในน้ำซักผ้าและน้ำรวม พบว่า สารส้มมีประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีที่สุด แต่ก็ส่งผลทำให้ค่าพีเอชของน้ำตัวอย่างลดลงตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน รองลงมาคือ สารโพลิเมอร์ประจุบวก ส่วนสารโพลิเมอร์ประจุลบนั้นไม่มีผลทั้งการก่อตะกอนและประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ สารโพลิเมอร์ทั้งประจุบวกและประจุลบจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช โดยที่ค่าพีเอชจะมีค่าคงตัว ดังผลการทดลองข้างต้น

นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่า ประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของสารก่อตะกอนจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารก่อตะกอนด้วย กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยจะมีค่าสูงสุด ก็ต่อเมื่อมีการเติมสารก่อตะกอนลงไปจนถึงปริมาณที่เหมาะสม แต่เมื่อเติมปริมาณสารก่อตะกอนต่อไปอีกจนเลยปริมาณที่เหมาะสมไปแล้ว ประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยจะมีค่าลดลง

2.1.2 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อตะกอนที่เหมาะสมร่วมกับการใช้สารช่วยก่อตะกอน

จากผลการทดลองในหัวข้อ 2.1.1 พบว่า สารโพลิเมอร์ประจุลบไม่มีผลในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ การศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อตะกอนที่เหมาะสมร่วมกับการใช้สารช่วยก่อตะกอนจึงใช้สารส้มและสารโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารก่อตะกอน โดยมีสารละลายเกาลิน (Kaolin) และสารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารช่วยก่อตะกอนเปรียบเทียบกันในแต่ละการทดลอง ทำการทดลองโดยไม่มีการปรับพีเอชของน้ำเสียตัวอย่าง พบว่า ประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและสารลดแรงตึงผิว ซึ่งวัดเปรียบเทียบก่อนและหลังดำเนินการทดลอง จะมีค่าแตกต่างกันตามปริมาณของสารก่อตะกอนแต่ละชนิด รวมทั้ง

ชนิดของสารช่วยก่อตะกอนที่เติมลงไปในน้ำเสีย โดยมีรายละเอียดของผลการทดลอง ดังนี้

2.1.2.1 การทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า

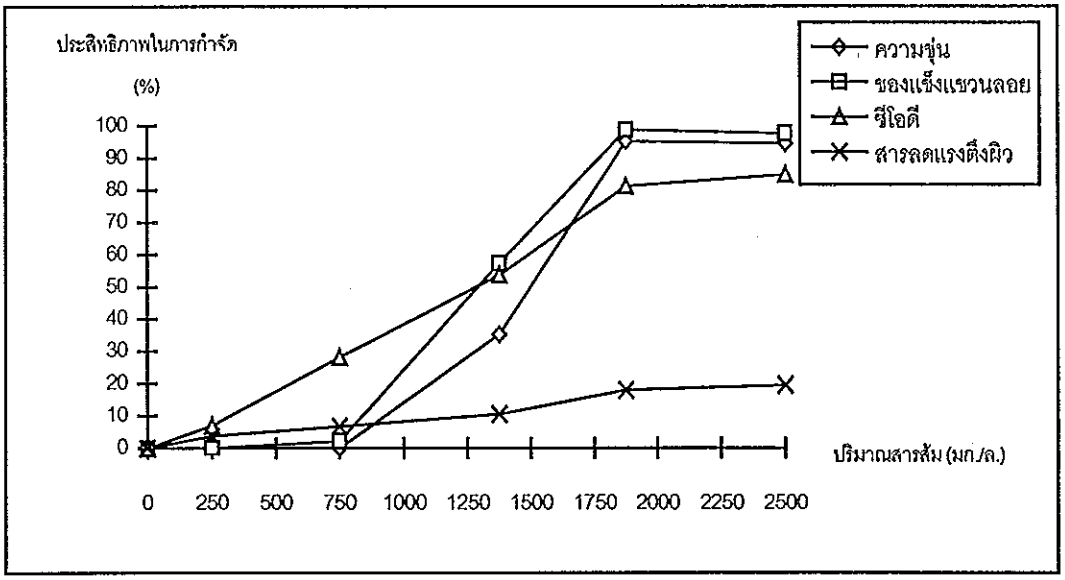
ก. การทดลองโดยใช้สารส้มหรือสารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับสารละลายเกาลิน 200 มก./ล. เป็นสารช่วยในการก่อตะกอน มีรายละเอียดของการทดลอง ดังนี้

ก.1 การทดลองเมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนในช่วงความเข้มข้น 250-2,500 มก./ล. ร่วมกับสารละลายเกาลิน พบว่า มีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 1,875 มก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 1,373 มก./ล. ลงเหลือ 283 มก./ล. ค่าความขุ่นจาก 270 NTU เหลือ 9 NTU ค่าของแข็งแขวนลอยจาก 460 มก./ล. เหลือ 3.33 มก./ล. และค่าสารลดแรงตึงผิวจาก 1.34 มก./ล. เหลือ 1.14 มก./ล. (ดังแสดงในตาราง 13) เมื่อคิดเป็นร้อยละในการลดค่าซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและสารลดแรงตึงผิว สามารถลดได้ร้อยละ 77.7 , 97.1 , 98.0 และ 9.5 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 22) ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการทดลองนี้จะมีลักษณะเป็นปุยขนาดเล็ก สีเทาขุ่น จมตัวได้เร็วและอัดตัวกันแน่นกว่าตะกอนของสารส้มเพียงชนิดเดียว เนื่องจากเกาลินจะเป็นตัวช่วยเพิ่มปริมาณสารแขวนลอยในการเป็นเป้าสัมผัสระหว่างสารก่อตะกอนกับสารแขวนลอย ดังนั้น ตะกอนที่เกิดขึ้น จึงรวมตัวและมีน้ำหนักมากกว่าตะกอนของน้ำเสียที่ใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนเพียงชนิดเดียว จึงตกตะกอนได้เร็วกว่า และจากการวัดระดับของตะกอน พบว่า ระดับตะกอนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน (ดังภาพประกอบ 23) นอกจากนี้ค่าพีเอชของน้ำตัวอย่างจากตาราง 13 ก็จะพบว่า มีค่าลดลงตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้น

ก.2 การทดลองเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวก ในช่วงความเข้มข้น 20-100 มก./ล. ร่วมกับสารละลายเกาลิน พบว่า มีปริมาณที่เหมาะสมเท่ากับ 40 มก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 1,373 มก./ล. ลงเหลือ 923 มก./ล. ค่าความขุ่นจาก 270 NTU เหลือ 225 NTU ค่าของแข็งแขวนลอยจาก 460 มก./ล. เหลือ 210 มก./ล. และสารลดแรงตึงผิวจาก 1.34 มก./ล. เหลือ 1.10 มก./ล. (ดังแสดงในตาราง 14) คิดเป็นร้อยละในการลดค่าซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและสารลดแรงตึงผิวได้ร้อยละ 18.5 , 16.0 , 53.0 และ 6.4 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 24) ตะกอนที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่ สีเหลืองอ่อนเหมือนสีของผงเกาลิน เมื่อสัมผัสดูจะมีลักษณะเหนียวหนืด ระคายมือเล็กน้อย อันเนื่องมาจากบริเวณผิวนอกของตะกอนมีผงเกาลินเกาะติดอยู่ นอกจากนี้ยังมีตะกอนของผงเกาลินที่ไม่ได้รวมตัวกับตะกอนของสารโพลิเมอร์ประจุบวกจมตัวอยู่บริเวณก้นของบีกเกอร์ด้วย (ดังภาพประกอบ 25)

ตาราง 13 คุณภาพน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารส้มร่วมกับเกาลินเป็นสารก่อตะกอนและช่วยก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์

ปริมาณสารก่อตะกอน (มก./ล.)	pH หลังเติมสารก่อตะกอน	ความขุ่น (NTU)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	สารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)
0	8.56	270	460	1,373	1.34
250	7.85	270	460	1,278	1.29
750	6.97	270	450	987	1.25
1,375	5.43	175	196	636	1.20
18,75	3.74	13	6	258	1 10
2,500	3.31	15	11	210	1.08

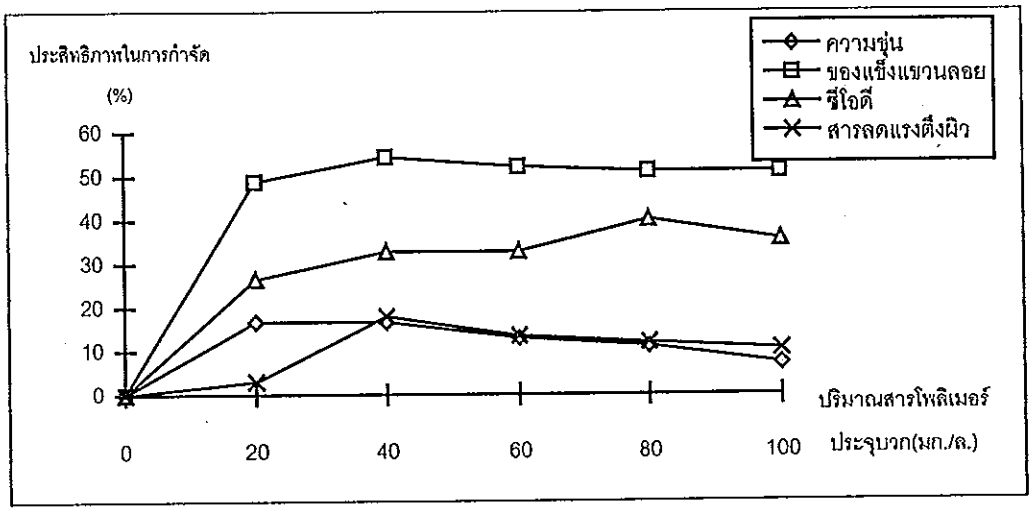


ภาพประกอบ 22 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารส้มร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนในน้ำซักผ้า จากการทดลองจาร์เทสต์

ภาพประกอบ 23 ลักษณะน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. จากการทดลองจาร์เทสต์

ตาราง 14 คุณภาพน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ ร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์

ปริมาณสาร (มก./ล.)	pH ภายหลังเติมสารก่อตะกอน	ความขุ่น (NTU)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	สารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)
0	8.56	270	460	1373	1.34
20	8.55	225	235	1009	1.3
40	8.55	225	210	923	1.1
60	8.53	235	220	923	1.16
80	8.53	240	225	822	1.18
10	8.52	249	225	855	1.2



ภาพประกอบ 24 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ ร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนในน้ำซักผ้า

ภาพประกอบ 25 ลักษณะน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. จากการทดลองจาร์เทสต์

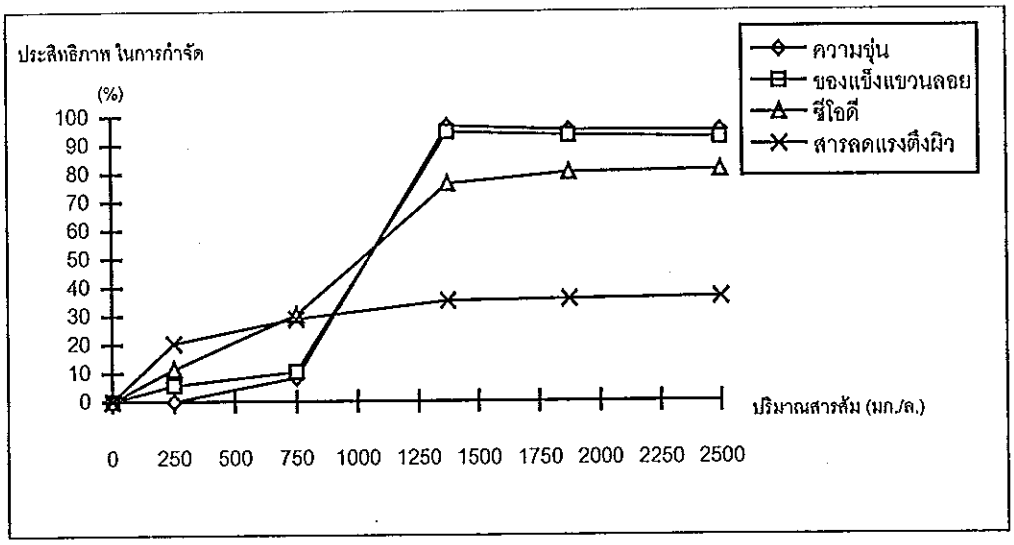
ข. การทดลองเมื่อใช้สารส้มหรือสารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารช่วยก่อตะกอน มีรายละเอียดของการทดลอง ดังนี้

ข.1 การทดลองเมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนในช่วงความเข้มข้น 250-2,500 มก./ ล. ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ พบว่า มีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 1,375 มก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 726 มก./ ล. เหลือ 188 มก./ล. ค่าความขุ่นจาก 180 NTU เหลือ 5.9 NTU ค่าของแข็งแขวนลอยจาก 212 มก./ล. เหลือ 11.33 มก./ล. และค่าสารลดแรงตึงผิวจาก 1.62 มก./ล. เหลือ 1.29 มก./ล. (ดังตาราง 15) และเมื่อคิดเป็นร้อยละในการลดค่าซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและสารลดแรงตึงผิว สามารถลดได้ร้อยละ 74.1, 96.7, 94.7 และ 35.2 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 26) ค่าพีเอชและลักษณะตะกอนที่พบในการทดลองนี้เหมือนกับการทดลองที่ใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอน เพียงแต่ตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณน้อยกว่าตะกอนของสารส้มและสารส้มร่วมกับเกาลิน เนื่องจากสารโพลิเมอร์ประจุลบไม่ได้เป็นตัวเพิ่มปริมาณสารแขวนลอยในการเป็นเป้าสัมผัสเหมือนกับเกาลิน แต่จะช่วยเป็นสะพานเชื่อมระหว่างคอลลอยด์ทำให้ตะกอนจับตัวกันแน่นมากขึ้น เมื่อสัมผัสตะกอนดูจะรู้สึกว่าเนื้อตะกอนมีลักษณะเหนียวหนืด (ดังภาพประกอบ29)

ข.2 การทดลองเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารก่อตะกอน ในช่วงความเข้มข้น 20-100 มก./ล. ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ พบว่า มีปริมาณที่เหมาะสมเท่ากับ 20 มก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 796 มก./ล. ลงเหลือ 647 มก./ล. ค่าความขุ่นจาก 180 NTU เหลือ 140 NTU ค่าของแข็งแขวนลอยจาก 212 มก./ล. เหลือ 100 มก./ล. และสารลดแรงตึงผิวจาก 1.62 มก./ล. เหลือ 1.51 มก./ล. (ดังตาราง 16) คิดเป็นร้อยละ 18.7, 22.2 , 52.8 และ 6.8 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 28) ค่าพีเอชที่พบในการทดลองนี้จะมีค่าคงตัวเหมือนกับการทดลองข้างต้นที่ใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารก่อตะกอน และลักษณะตะกอนที่พบมีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่สีเทาขุ่นจมตัวอยู่ที่ก้นบีกเกอร์ มีตะกอนบางส่วนลอยตัวอยู่บริเวณผิวหน้าของน้ำเสีย เนื่องจากประจุบวกและลบของสารโพลิเมอร์หักล้างกัน ทำให้อนุภาคคอลลอยด์บางส่วนกลับมาเสถียรภาพใหม่ จึงเกิดการลอยตัวขึ้น (ดังภาพประกอบ 29)

ตาราง 15 คุณภาพน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอน จากการทดลองจาร์เทสต์

ปริมาณสาร (มก./ล.)	pH ภายหลังเติมสารก่อตะกอน	ความขุ่น (NTU)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	สารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)
0	9.75	180	212	796	1.62
250	8.1	180	200	706	1.29
750	6.36	165	190	555	1.15
1375	4.09	5.9	11.33	188	1.05
1875	3.89	8.6	14	156	1.04
2500	3.75	9.1	16	150	1.03

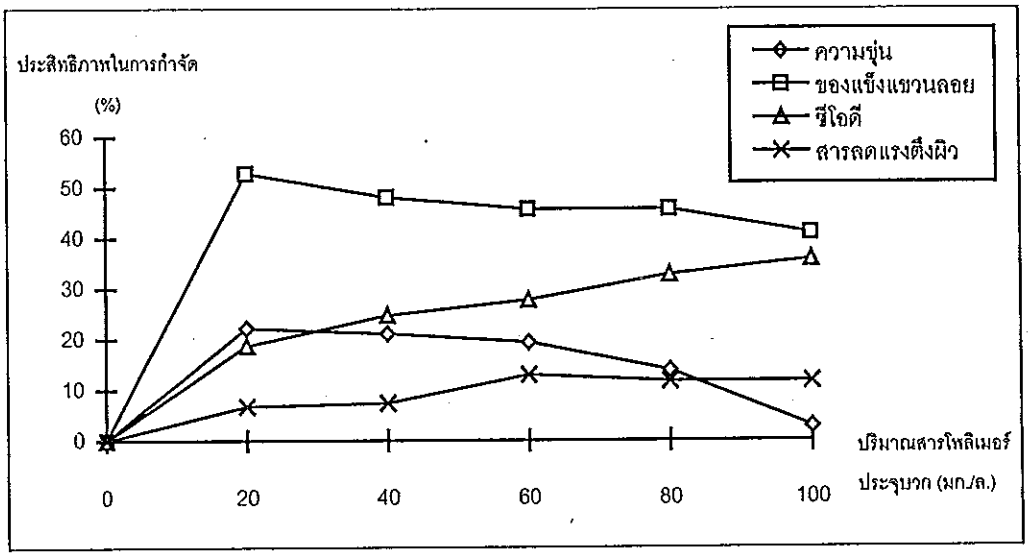


ภาพประกอบ 26 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนในน้ำซักผ้า จากการทดลองจาร์เทสต์

ภาพประกอบ 27 ลักษณะน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. จากการทดลองจาร์เทสต์

ตาราง 16 คุณภาพน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์

ปริมาณสาร (มก./ล.)	pH ภายหลังเติมสารก่อตะกอน	ความขุ่น (NTU)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	สารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)
0	9.75	180	212	796	1.62
20	9.76	140	100	647	1.51
40	9.76	142	110	599	1.5
60	9.75	145	115	575	1.41
80	9.74	155	115	535	1.43
100	9.76	175	125	511	1.43

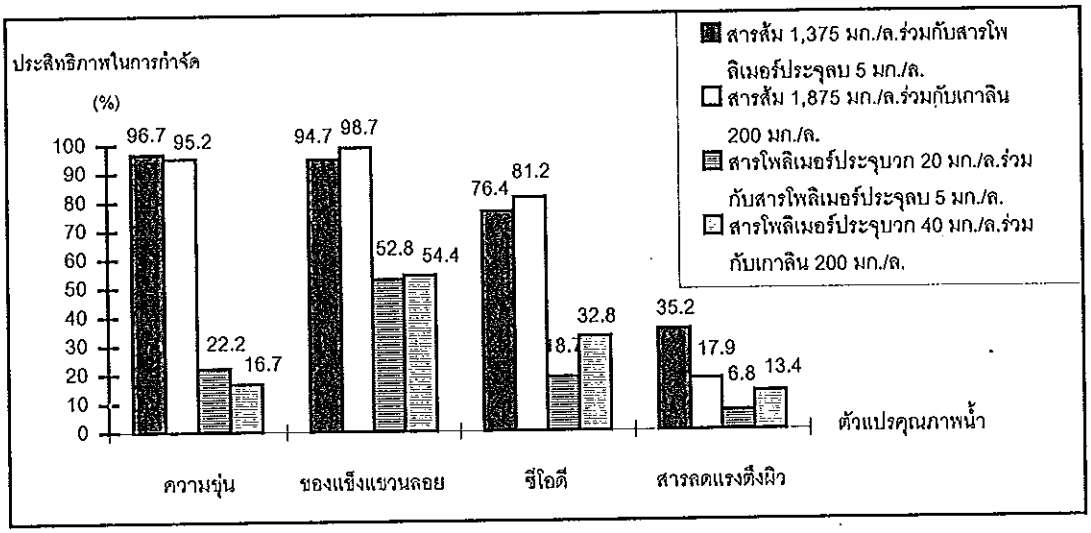


ภาพประกอบ 28 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนในน้ำซักผ้า

ภาพประกอบ 29 ลักษณะน้ำซักผ้าเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. จากการทดลองจาร์เทสต์

ค. สรุปผลการทดลองชนิดและปริมาณสารก่อตะกอนที่เหมาะสมร่วมกับการใช้สารช่วยก่อตะกอนในน้ำซักผ้า

จากผลการทดลองจาร์เทสต์เมื่อใช้สารส้มร่วมกับเกาลิน สารโพลิเมอร์ประจุบวกร่วมกับเกาลิน สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ และสารโพลิเมอร์ประจุบวกร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ เป็นสารก่อตะกอนและช่วยก่อตะกอนในน้ำซักผ้านั้น พบว่า สารส้ม 1,375 มก./ล. ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีที่สุด รองลงมาได้แก่ สารส้ม 1,875 มก./ล. ร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. สารโพลิเมอร์ประจุบวก 20 มก./ล. ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. และสารโพลิเมอร์ประจุบวก 40 มก./ล. ร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. ตามลำดับ โดยมีร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีและสารลดแรงตึงผิว ดังแสดงในภาพประกอบ 30 และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณที่เหมาะสมของสารก่อตะกอนชนิดเดียวกันแต่ต่างประเภทของสารช่วยก่อตะกอน พบว่า สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ จะมีปริมาณที่เหมาะสมน้อยกว่าปริมาณที่เหมาะสมของสารส้มร่วมกับเกาลิน เช่นเดียวกันกับปริมาณที่เหมาะสมของสารโพลิเมอร์ประจุบวก เมื่อมีสารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารช่วยก่อตะกอนจะมีปริมาณที่เหมาะสมน้อยกว่าปริมาณที่เหมาะสมของสารโพลิเมอร์ประจุบวกร่วมกับเกาลิน อนึ่งน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดจะใช้น้ำเสียคนละชุดกันในแต่ละการทดลอง แต่ลักษณะของน้ำเสียและคุณภาพน้ำจะใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบ 30 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของสารก่อตะกอนในปริมาณที่เหมาะสมร่วมกับสารช่วยก่อตะกอนแต่ละชนิดในน้ำซักผ้า

2.1.2.2 การทดลองโดยใช้น้ำรวม

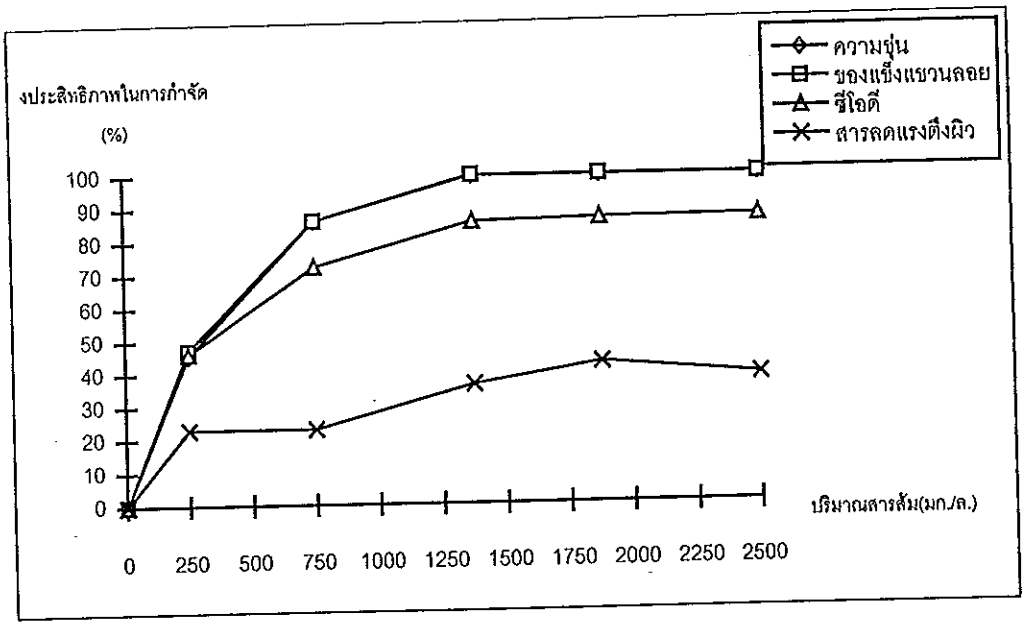
ก. การใช้สารส้มหรือสารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. เป็นสารช่วยในการก่อตะกอน มีรายละเอียดของผลการทดลอง ดังนี้

ก.1 การทดลองเมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนในช่วงความเข้มข้น 250-2,500 มก./ล. ร่วมกับสารละลายเกาลิน พบว่า มีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 1,375 มก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 1,079 มก./ล. ลงเหลือ 157 มก./ล. ค่าความขุ่นจาก 440 NTU เหลือ 3.5 NTU ค่าของแข็งแขวนลอยจาก 482 มก./ล. เหลือ 2.66 มก./ล. และค่าสารลดแรงตึงผิวจาก 1.44 มก./ล. เหลือ 0.92 มก./ล. (ดังแสดงในตาราง 17) คิดเป็นร้อยละในการลดค่าซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและสารลดแรงตึงผิว ได้ร้อยละ 85.5, 99.0 , 99.5 และ 36.1 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 31) ตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า แต่มีปริมาณตะกอนน้อยกว่า เนื่องจากในน้ำเสียรวมมีความเข้มข้นของสิ่งเจือปนต่างๆ จำพวกสารแขวนลอยและคอลลอยด์น้อยกว่าน้ำซักผ้า (ดังภาพประกอบ 32)

ก.2 การทดลองเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในช่วงความเข้มข้น 20-100 มก./ล. พบว่า ปริมาณสารโพลิเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมเท่ากับ 40 มก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 1,079 มก./ล. ลงเหลือ 505 มก./ล. ค่าความขุ่นจาก 440 NTU เหลือ 170 NTU ค่าของแข็งแขวนลอยจาก 492 มก./ล. เหลือ 120 มก./ล. และสารลดแรงตึงผิวจาก 1.44 มก./ล. เหลือ 1.15 มก./ล. (ดังแสดงในตาราง 18) คิดเป็นร้อยละในการลดค่าซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและสารลดแรงตึงผิว ได้ร้อยละ 53.2, 61.4 , 75.6 และ 20.1 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 32) ตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า แต่มีปริมาณของตะกอนน้อยกว่าในน้ำซักผ้าเช่นเดียวกัน (ดังภาพประกอบ 33)

ตาราง 17 คุณภาพน้ำรวมเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ร่วมกับ เกาลิน 200 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์

ปริมาณสาร (มก./ล.)	pH ภายหลังเติมสารก่อตะกอน	ความขุ่น (NTU)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	สารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)
0	7.88	440	492	1079	1.44
250	7.09	240	260	582	1.11
750	5.63	61	68	299	1.11
1375	3.49	3.5	2.66	157	0.92
1875	3.38	4.1	4	149	0.83
2500	3.31	5.1	5.33	147	0.89

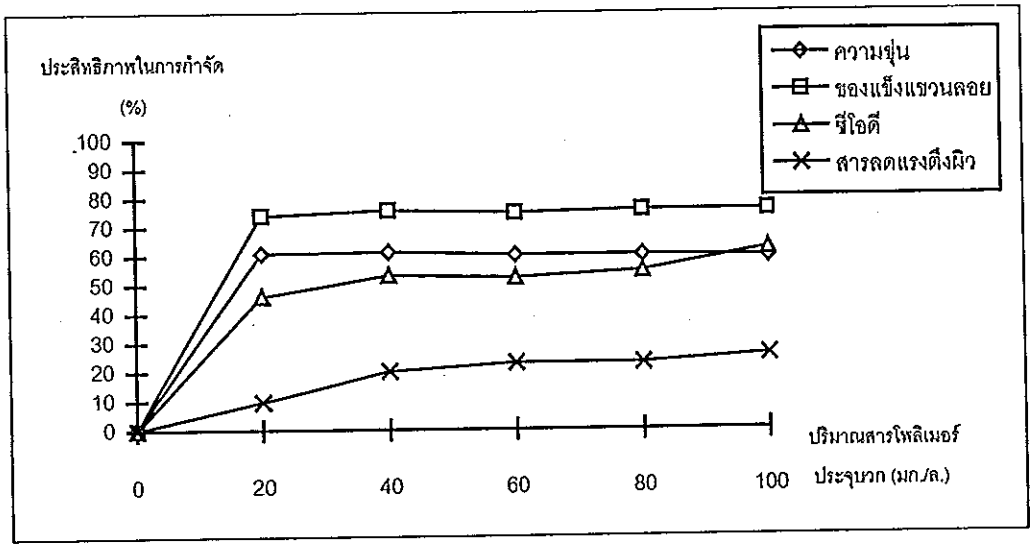


ภาพประกอบ 31 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนในน้ำรวม

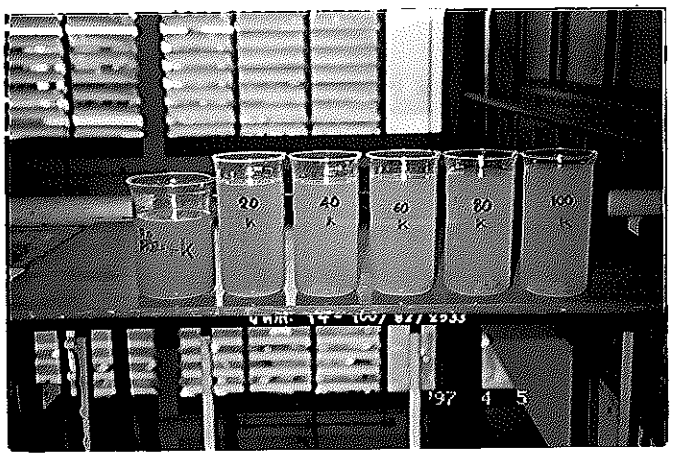
ภาพประกอบ 32 ลักษณะน้ำรวมเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล.

ตาราง 18 คุณภาพน้ำรวมเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ ร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์

ปริมาณสารก่อตะกอน(มก./ล.)	pH ภายหลังเติมสารก่อตะกอน	ความขุ่น (NTU)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	สารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)
0	7.88	440	492	1079	1.44
20	7.74	172	128	582	1.3
40	7.7	170	120	505	1.15
60	7.7	175	124	513	1.11
80	7.68	175	120	490	1.11
100	7.68	178	120	406	1.07



ภาพประกอบ 33 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ ร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนในน้ำรวม



ภาพประกอบ 34 ลักษณะน้ำรวมเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับเกาลิน 200 มก./ล. จากการทดลองจาร์เทสต์

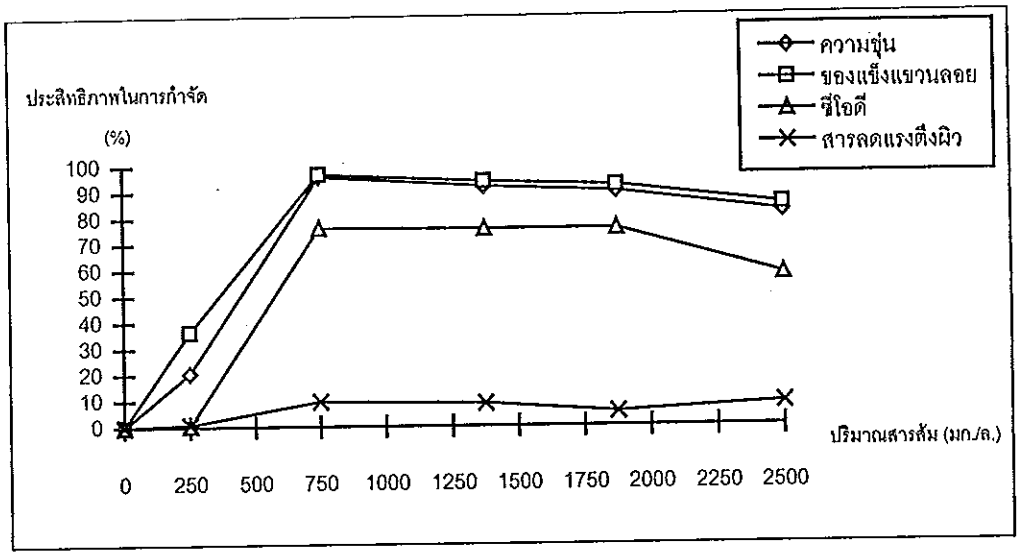
ข. การใช้สารส้มหรือสารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบปริมาณ 5 มก./ล. เป็นสารช่วยในการก่อตะกอน มีรายละเอียดของการทดลอง ดังนี้

ข.1 การทดลองเมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนในช่วงความเข้มข้น 250-2,500 มก./ล. ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ พบว่า มีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 750 มก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 393 มก./ล. ลงเหลือ 94 มก./ล. ค่าความขุ่นจาก 170 NTU เหลือ 7.3 NTU ค่าของแข็งแขวนลอยจาก 240 มก./ล. เหลือ 8 มก./ล. และค่าสารลดแรงตึงผิวจาก 1.15 มก./ล. เหลือ 1.05 มก./ล. (ดังแสดงในตาราง 19) เมื่อคิดเป็นร้อยละในการลดค่าซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและสารลดแรงตึงผิว ลดได้ร้อยละ 76.1, 95.5, 96.7 และ 9.6 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 35) ลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้นจะเหมือนกับตะกอนในการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า แต่มีปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นน้อยกว่า (ดังภาพประกอบ 36)

ข.2 การทดลองเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารก่อตะกอนในช่วงความเข้มข้น20-100 มก./ล. พบว่า ปริมาณสารโพลิเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมเท่ากับ 20 มก./ล. สามารถลดค่าซีโอดีจาก 393 มก./ล. ลงเหลือ 253 มก./ล. ค่าความขุ่นจาก 170 NTU เหลือ 140 NTU ค่าของแข็งแขวนลอยจาก 240 มก./ล. เหลือ 120 มก./ล. และสารลดแรงตึงผิวจาก 1.15 มก./ล. เหลือ 1.14 มก./ล. (ดังแสดงในตาราง 20) คิดเป็นร้อยละในการลดค่าซีโอดี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยและสารลดแรงตึงผิว ได้ร้อยละ 28.0, 19.5 , 50.0 และ 4.4 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 37) ลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้นจะเหมือนกับตะกอนในการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า แต่มีปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นน้อยกว่า

ตาราง 19 คุณภาพน้ำรวม เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์

ปริมาณสาร (มก./ล.)	pH ภายหลังเติมสารก่อตะกอน	ความขุ่น (NTU)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	สารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)
0	8.13	170	240	393	1.15
250	6.78	135	153	391	1.14
750	4.42	7.3	8	94	1.04
1,375	4.07	14	15	96	1.05
1,875	4	17.5	19	96	1.09
2,500	3.92	31	37	166	1.05

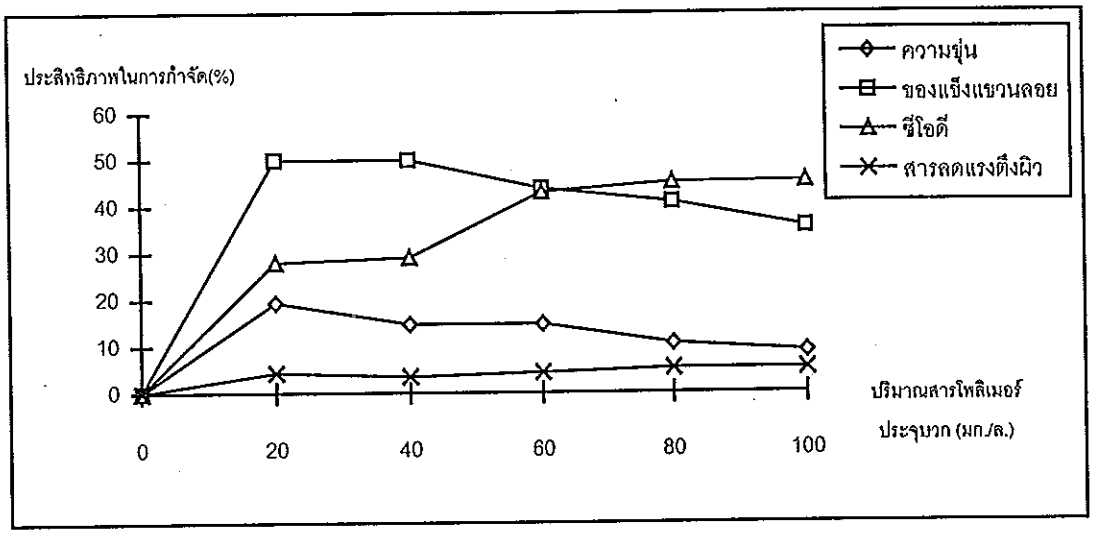


ภาพประกอบ 35 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนในน้ำรวมจากการทดลองจาร์เทสต์

ภาพประกอบ 36 ลักษณะน้ำรวมเมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอนร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล.จากการทดลองจาร์เทสต์

ตาราง 20 คุณภาพน้ำรวมเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์

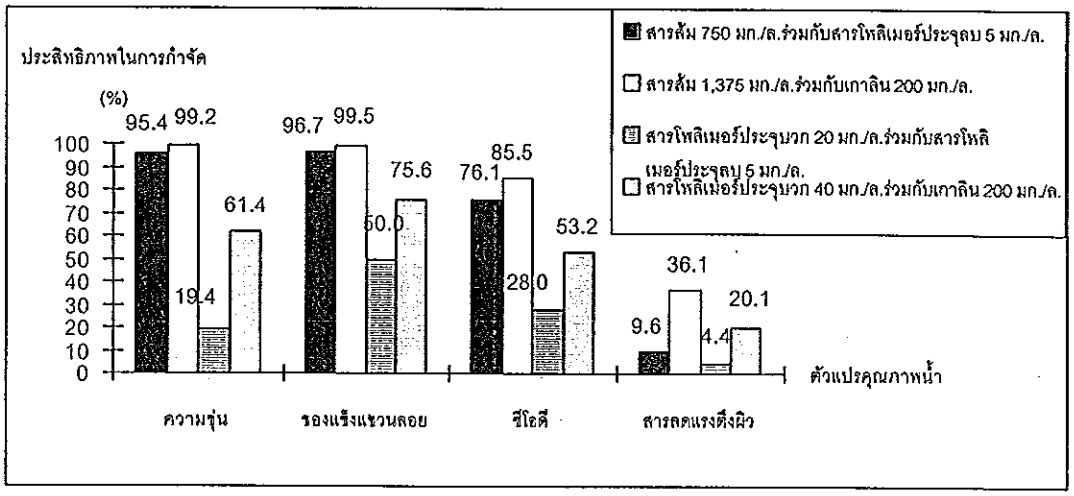
ปริมาณสาร (มก./ล.)	pH ภายหลังเติมสารก่อตะกอน	ความขุ่น (NTU)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ซีโอดี (มก./ล.)	สารลดแรงตึงผิว (มก./ล.)
0	8.13	170	240	393	1.15
20	8.12	137	120	283	1.1
40	8.11	145	120	279	1.11
60	8.11	145	135	224	1.1
80	8.1	152	142	216	1.09
100	8.08	155	155	215	1.09



ภาพประกอบ 37 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนในน้ำรวม จากการทดลองจาร์เทสต์

ค. สรุปผลการทดลองชนิดและปริมาณสารก่อตะกอนที่เหมาะสมร่วมกับสารช่วยในการก่อตะกอนในน้ำรวม

จากผลการทดลองเมื่อใช้สารส้มร่วมกับเกาลิน สารโพลิเมอร์ประจุบวกร่วมกับเกาลิน สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ และสารโพลิเมอร์ประจุบวกร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ เป็นสารก่อตะกอนและช่วยก่อตะกอนในน้ำรวม พบว่า ผลการทดลองจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า แต่จะแตกต่างกันตรงปริมาณที่เหมาะสมของสารก่อตะกอน โดยการทดลองโดยใช้น้ำรวมจะใช้ปริมาณสารก่อตะกอนที่เหมาะสมน้อยกว่าปริมาณสารก่อตะกอนในการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าทุกชนิดของสารก่อตะกอน คือ สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ มีปริมาณที่เหมาะสมเท่ากับ 750 มก./ล. ส่วนปริมาณที่เหมาะสมของสารส้มร่วมกับเกาลินเท่ากับ 1,375 มก./ล. ปริมาณที่เหมาะสมของสารโพลิเมอร์ประจุบวกร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบเท่ากับ 20 มก./ล. และปริมาณที่เหมาะสมของสารส้มร่วมกับเกาลินเท่ากับ 40 มก./ล. ตามลำดับ โดยมีร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของปริมาณที่เหมาะสมของสารก่อตะกอนร่วมกับสารช่วยก่อตะกอน ดังภาพประกอบ 38 อนึ่งน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง จะใช้น้ำเสียต่างชุดกันในแต่ละการทดลอง แต่มีลักษณะคุณภาพน้ำเสียที่คล้ายคลึงกัน



ภาพประกอบ 38 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของสารก่อตะกอนในปริมาณที่เหมาะสมร่วมกับสารช่วยในการก่อตะกอนแต่ละชนิดในน้ำรวม

2.1.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของ pH ที่มีผลต่อการก่อตะกอนของสารส้ม

จากผลการทดลองในหัวข้อ 2.1.1 และ 2.1.2 จะเห็นได้ว่า สารส้มเป็นสารเคมีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำทั้งการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าและน้ำรวม การทดลองนี้จึงใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนภายใต้การปรับพีเอชของน้ำเสียดิบ ซึ่งช่วงพีเอชที่สารส้มทำงานได้ดี มักอยู่ในช่วง 5.5-8 (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539 : 125) ดังนั้นเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของพีเอชที่มีผลต่อการทำงานของสารส้ม การทดลองนี้จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเติมสารส้มที่มีการปรับพีเอชของน้ำเสียให้อยู่ในช่วง 5-8 กับน้ำเสียดิบที่ไม่มีการปรับพีเอช โดยใช้สารส้มในปริมาณเดียวกัน และนอกจากนี้ที่พีเอชเดิมของน้ำเสียดิบ ได้ทดลองเพิ่มปริมาณสารส้มให้สูงขึ้น เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำระหว่างสารส้มที่มีค่าพีเอชที่เหมาะสมกับปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้น โดยมีตัวแปรคุณภาพน้ำที่ใช้ตรวจสอบ คือ พีเอช ความขุ่นและของแข็งแขวนลอย การปรับพีเอชของน้ำเสียนั้นจะใช้กรดซัลฟูริค 5 และ 0.1 นอร์มัล และโซเดียมไฮดรอกไซท์ 5 และ 0.1 นอร์มัล เป็นตัวปรับพีเอช ดังรายละเอียดของการทดลอง ดังนี้

ก. การทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า จากการทดลองข้างต้นนั้น จะสังเกตได้ว่า การก่อตะกอนจะเกิดขึ้นได้ดี จำเป็นต้องใช้สารส้มในปริมาณสูง ซึ่งส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำเสียลดลงมาก ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงได้กำหนดปริมาณสารส้มให้น้อยลง โดยใช้สารส้ม 500 มก./ล. ผลการทดลองพบว่า ที่พีเอช 5.5 สารส้มจะมีประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีที่สุด โดยสามารถ

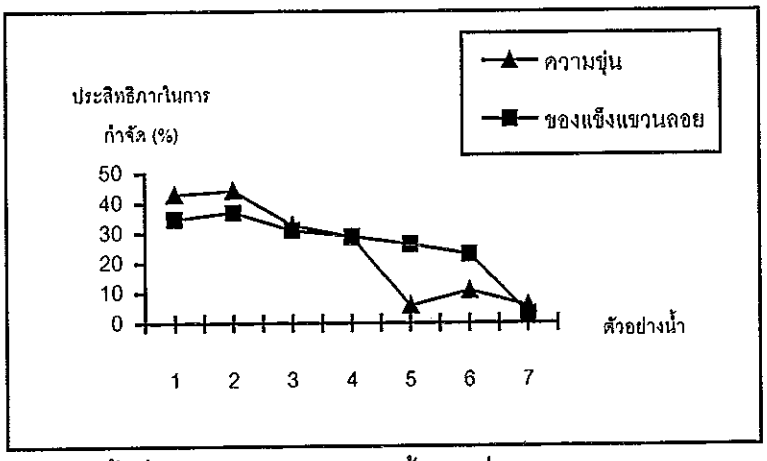
ลดค่าความขุ่นจาก 244 NTU เหลือ 136 NTU ค่าของแข็งแขวนลอยจาก 270 มก./ล. เหลือ 170 มก./ล. (ดังแสดงในตาราง 21) คิดเป็นร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 44.3 และ 37.0 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 39) เมื่อสังเกตลักษณะของการก่อตัวของตะกอน พบว่า ตะกอนจะรวมตัวกันได้ไม่ดีนัก (ดังภาพประกอบ 40) เนื่องมาจากปริมาณความเข้มข้นของสารส้มที่เติมลงไป ไม่เพียงพอต่อการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ในน้ำเสีย

ส่วนการทดลองที่พีเอชเดิมของน้ำเสียดิบใช้ปริมาณสารส้ม 500 และ 1,000 มก./ล. ผลการทดลอง พบว่า ที่ปริมาณสารส้ม 500 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นจาก 244 NTU เหลือ 145 NTU ของแข็งแขวนลอยจาก 270 มก./ล. เหลือ 176 มก./ล. ส่วนค่าพีเอช 8.94 ลดลงเหลือ 5.82 (ดังแสดงในตาราง 21) คิดเป็นร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 40.6 และ 34.8 ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารส้ม 1,000 มก./ล. สามารถลดค่าความขุ่นจาก 244 NTU เหลือ 8.9 NTU ค่าของแข็งแขวนลอยจาก 270 มก./ล. เหลือ 15 มก./ล. และค่าพีเอชจาก 8.94 เหลือ 4.52 คิดเป็นร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 96.4 และ 95.6 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 39 และ 41)

ตาราง 21 ประสิทธิภาพของสารส้ม 500 มก./ล. ในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำซักผ้า ภายใต้การปรับพีเอชของน้ำเสียและที่พีเอชเดิมของน้ำเสียดิบ

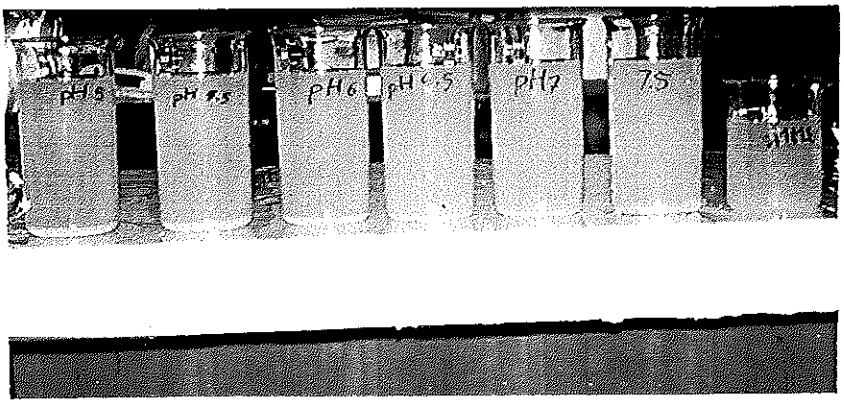
ตัวอย่าง	ค่าพีเอชเริ่มต้น	ค่าพีเอชสุดท้าย	ความขุ่น(NTU)	ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)
น้ำเสียดิบ	8.94	8.94	244	270
1	5.0	5.1	139	176
2	5.5	5.6	136	170
3	6.0	6.1	164	186
4	6.5	6.6	174	192
5	7.0	7.0	179	199
6	7.5	7.6	218	208
7	8.0	8.0	230	235
8	8.94	5.82	145	176
9	8.94	4.52	8.9	15

หมายเหตุ : ตัวอย่างที่ 8-9 หมายถึง ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ปริมาณสารส้ม500 มก./ล. และ 1,000 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอน โดยไม่มีการปรับพีเอชของน้ำเสีย ตามลำดับ



หมายเหตุ : ตัวอย่างน้ำที่1-7 หมายถึง ตัวอย่างน้ำเสียที่มีการปรับพีเอช เท่ากับ 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5 และ 8 ตามลำดับ

ภาพประกอบ 39 ร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยจากน้ำซักผ้าในตัวอย่างน้ำเสียที่มีการปรับค่าพีเอชแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 40 ลักษณะน้ำเสียจากการทดลองการก่อตะกอนของปริมาณสารส้ม 500 มก./ล. ในน้ำซักผ้าด้วยวิธีจาร์เทสต์ โดยมีการปรับพีเอชของน้ำเสียตัวอย่าง

ภาพประกอบ 41 ลักษณะน้ำเสียจากการทดลองการก่อตะกอนในน้ำซักผ้าด้วยวิธีจาร์เทสต์ ที่ปริมาณสารส้ม 500 และ 1,000 มก./ล. โดยไม่มีการปรับพีเอชของน้ำเสียตัวอย่าง

จากตาราง 21 และภาพประกอบ 39-41 จะสังเกตได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มเป็น 1,000 มก./ล. ประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำจะสูงกว่าที่ปริมาณสารส้ม 500 มก./ล. ในสภาวะพีเอชที่เหมาะสม ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า แม้การปรับพีเอชของน้ำเสียจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของสารก่อตะกอน โดยที่สารก่อตะกอนจะมีประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำได้ดีในสภาวะพีเอชที่เหมาะสม แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณสารก่อตะกอนที่เติมลงไปด้วย ถ้าปริมาณสารก่อตะกอนมีปริมาณน้อยจนไม่เพียงพอต่อการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ การก่อตะกอนก็จะรวมตัวกันได้ไม่ดี ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำมีค่าต่ำกว่าคุณภาพน้ำจากการทดลองที่มีการเพิ่มสารก่อตะกอนให้สูงขึ้นในสภาวะที่มีการปรับค่าพีเอช เช่นกัน

ข. การทดลองโดยใช้น้ำรวม ได้กำหนดปริมาณสารส้มที่ใช้เท่ากับ 300 มก./ล. ผลการทดลอง พบว่า สารส้มจะมีประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีที่สุด ที่พีเอช 5 โดยสามารถลดค่าความขุ่นจาก 143 NTU ลงเหลือ 66.8 NTU และค่าของแข็งแขวนลอยจาก 132 มก./ล. เหลือ 89 มก./ล. (ดังแสดงในตาราง 22) คิดเป็นร้อยละในการลดค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 53.3 และ 32.6 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 42) เมื่อสังเกตลักษณะของตะกอน พบว่า การก่อตะกอนจะรวมตัวกันได้ไม่ดีนัก เช่นเดียวกับการทดลองในน้ำซักผ้า (ดังภาพประกอบ 43) เป็นผลมาจากปริมาณความเข้มข้นของสารส้มที่เติมลงไปทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์

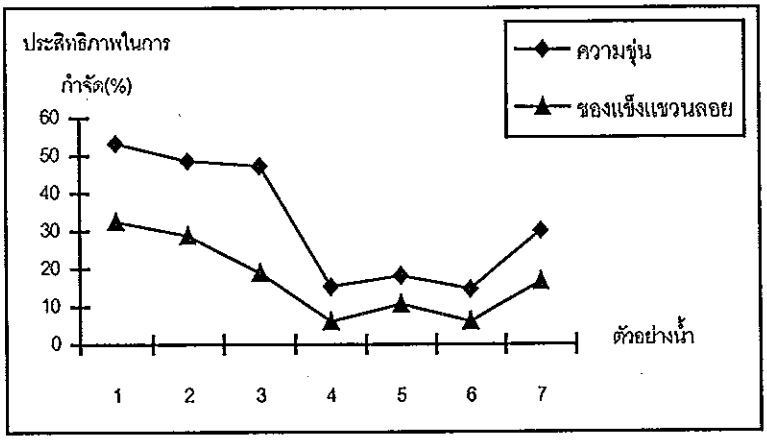
ของน้ำเสียมีไม่เพียงพอ เช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ได้ทำการทดลองที่พีเอชเดิมของน้ำเสียดิบ โดยใช้ปริมาณสารส้ม 300 มก./ล. และ 500 มก./ล. พบว่า ที่ปริมาณสารส้ม 500 มก./ล. จะมีประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยดีกว่าที่ปริมาณสารส้ม 300 มก./ ล. โดยสามารถลดความขุ่นจาก 143 NTU เหลือ 12.7 NTU และค่าของแข็งแขวนลอยจาก 132 มก./ล. เหลือ 18 มก./ล. (ดังแสดงในตาราง 22) คิดเป็นร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 91.1 และ 86.4 ตามลำดับ (ดังภาพประกอบ 42)

ตาราง 22 ประสิทธิภาพของสารส้ม 300 มก./ล. ในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำรวมภายใต้การปรับพีเอชของน้ำเสียและที่พีเอชเดิมของน้ำเสียดิบ

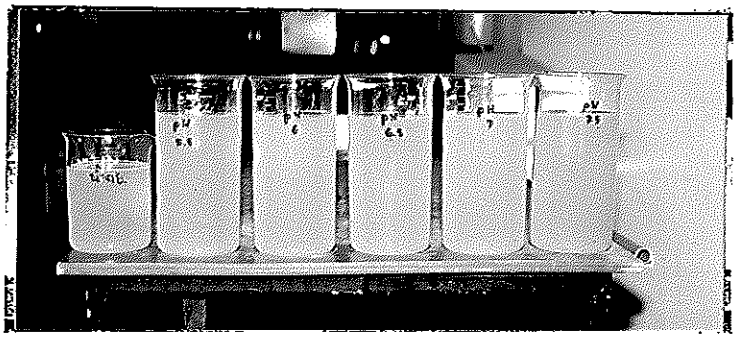
ตัวอย่าง	ค่าพีเอชเริ่มต้น	ค่าพีเอชสุดท้าย	ความขุ่น(NTU)	ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)
น้ำเสียดิบ	8.57	8.57	143	132
1	5.0	5.1	66.8	89
2	5.5	5.6	73.3	94
3	6.0	6.0	75.4	107
4	6.5	6.6	121	124
5	7.0	7.0	117	118
6	7.5	7.6	122	124
7	8.0	8.0	100	110
8	8.57	5.04	66.8	93
9	8.57	4.43	12.7	18

หมายเหตุ : ตัวอย่างที่ 8-9 หมายถึง ตัวอย่างน้ำเสียที่มีสารส้มปริมาณ 300 มก./ล. และ 500 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอนที่พีเอชเดิมของน้ำเสียตัวอย่าง ตามลำดับ



หมายเหตุ : ตัวอย่างน้ำเสียที่ 1-7 หมายถึง ตัวอย่างน้ำเสียที่มีการปรับพีเอชให้เท่ากับ 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5 และ 8 ตามลำดับ

ภาพประกอบ 42 ร้อยละของประสิทธิภาพของการลดค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียรวมที่พีเอชแตกต่างกันของน้ำเสียตัวอย่าง



ภาพประกอบ 43 ลักษณะน้ำเสียจากการทดลองการก่อตะกอนในน้ำรวมด้วยวิธีจาร์เทสต์ ที่ปริมาณสารส้ม 300 มก./ล. โดยมีการปรับพีเอชของน้ำเสียตัวอย่าง

จากตาราง 22 และภาพประกอบ 42-43 จะสังเกตได้ว่า ผลการทดลองจะเป็นไปในแนวทางเดียวกับการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า คือ แม้การปรับพีเอชของน้ำเสียจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของสารก่อตะกอน แต่ประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารก่อตะกอนที่เติมลงไปในน้ำเสียด้วย ถ้าปริมาณสารก่อตะกอนน้อยเกินไป จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการก่อตะกอนรวมตัวกันได้ไม่ดีและ

ประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำก็มีค่าต่ำกว่าการทดลองที่มีการเพิ่มปริมาณสารก่อตะกอน ในสภาวะที่ไม่มีการปรับพีเอชของน้ำเสียดิบเช่นเดียวกัน

2.1.4 ผลการศึกษาการหาปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในรูปของค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในตะกอนจากการทดลองจาร์เทสต์

จากผลการทดลองจาร์เทสต์ข้างต้นพบว่า สารส้มเป็นสารก่อตะกอนและสารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารก่อตะกอนและช่วยก่อตะกอน ที่มีประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีที่สุด ดังนั้นในการศึกษาการหาค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในตะกอน จะหาเฉพาะในตะกอนของน้ำเสียที่มีสารส้มเป็นสารก่อตะกอน และสารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารก่อตะกอนและช่วยก่อตะกอนทั้งในน้ำซักผ้าและน้ำรวม โดยมีรายละเอียดของการทดลอง ดังนี้

ก. การทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า

การทดลองใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนในช่วง 1,125-4,000 มก./ล. พบว่า ค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในตะกอน มีค่ามากขึ้นตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้น (ดังแสดงในตารางผนวก 1) โดยที่ปริมาณสารส้ม 4,000 มก./ล. ซึ่งเป็นปริมาณที่มากที่สุดในการทดลอง มีค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในตะกอน เท่ากับ 28,670, 18,000, 10,670 มก./ล. ตามลำดับ นอกจากนี้จากการสังเกตโดยการวัดระดับของปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง โดยทำการวัดตะกอนจากก้นบิ๊กเกอร์ถึงระดับผิวบนสุดของชั้นตะกอน พบว่า ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลองจะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้น เช่นกัน เนื่องจากปริมาณสารส้มที่สูงขึ้นจะเป็นการเพิ่มผลึกของ $Al(OH)_3$ ซึ่งจะรวมตัวกันเป็นตะกอนต่อไป

ส่วนผลการทดลองเมื่อใช้สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารก่อตะกอนและช่วยในการก่อตะกอนนั้น ใช้ปริมาณสารส้มในช่วง 250-2,500 มก./ล. ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. พบว่า ค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในตะกอน มีค่ามากขึ้นตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้น เช่นกัน (ดังแสดงในตารางผนวก 2) โดยที่ปริมาณสารส้ม 2,500 มก./ล. มีค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในตะกอน เท่ากับ 17,330, 9,330, 8,000 มก./ล. ตามลำดับ และจากการวัดระดับตะกอนที่เกิดขึ้นในการทดลอง พบว่า ระดับตะกอนจะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้น เช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบระดับตะกอนที่เกิดขึ้นในการทดลองระหว่างการใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนเพียงชนิดเดียวกับการใช้สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารก่อตะกอนและช่วยก่อตะกอน พบว่า ที่ปริมาณสารส้มเท่ากันระดับตะกอน

ที่ได้จากการทดลองเมื่อใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนเพียงชนิดเดียวจะมีระดับตะกอนที่สูงกว่าการทดลองเมื่อใช้สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารก่อตะกอนและช่วยก่อตะกอน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารโพลิเมอร์ประจุลบช่วยให้ตะกอนจับตัวกันแน่นขึ้น อันเนื่องมาจากสารโพลิเมอร์ประจุลบมีโครงข่ายของโมเลกุลในการจับอนุภาคคอลลอยด์คล้ายสะพานเชื่อมและน้ำหนักโมเลกุลสูง ตะกอนจึงรวมตัวกันแน่น

ข. การทดลองโดยใช้น้ำรวม

การทดลองใช้สารส้มในปริมาณ 300-1,500 มก./ล. พบว่า ผลการทดลองเป็นไปในแนวทางเดียวกับการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า แต่ค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในตะกอนจะมีค่าน้อยกว่าตะกอนของน้ำซักผ้า เนื่องจากในน้ำรวมมีความเข้มข้นของสิ่งเจือปนต่างๆ น้อยกว่าในน้ำซักผ้า โดยที่ปริมาณสารส้ม 1,500 มก./ล. มีค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในตะกอนเท่ากับ 10,370, 5,926, 4,444 มก./ล. ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางผนวก 3)

ส่วนการทดลองเมื่อใช้สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารก่อตะกอนและช่วยในการก่อตะกอนนั้น ใช้ปริมาณสารส้มในช่วง 300-1,200 มก./ล. ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. พบว่า ค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในตะกอน มีค่ามากขึ้นตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (ดังแสดงในตารางผนวก 4) โดยที่ปริมาณสารส้ม 1,200 มก./ล. มีค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในตะกอน เท่ากับ 10,000, 6,000, 4,000 มก./ล. ตามลำดับ

2.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ

จากผลการทดลองในหัวข้อ 2.1 พบว่า สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบมีประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีที่สุด ดังนั้นในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ จึงใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนในถังกวนเร็วและใช้สารโพลิ-เมอร์ประจุลบเป็นสารช่วยก่อตะกอนในถังกวนช้า โดยใช้น้ำเสียจากขั้นตอนการซักและน้ำรวมผ่านเข้าสู่ระบบ ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบโดยใช้สารกรองและอัตราการกรองที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดของการทดลอง ดังนี้

2.2.1 การทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า

ก่อนการทดลองผ่านน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง ได้ทำการทดสอบหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อดูถึงความสามารถของการก่อตะกอน พบว่า ที่ปริมาณสารส้ม1,625 มก./ล.

สามารถก่อตะกอนได้ดี จึงใช้สารส้มปริมาณดังกล่าวเป็นสารก่อตะกอนร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารช่วยก่อตะกอนในทุกอัตราการกรอง โดยมีถ่านแอนทราไซท์ ทราย และทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง มีรายละเอียดของผลการทดลอง ดังนี้

ก. ผลการทดลองที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที พบว่า คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง จะมีค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในขั้นตอนของกระบวนการตกตะกอนและกระบวนการกรอง ในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4 ดังแสดงผลในตาราง 23-25 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง พบว่า น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชั่นและตกตะกอน แล้วผ่านการกรองโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองจะมีประสิทธิภาพในการกรองดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ทราย และถ่านแอนทราไซท์ ตามลำดับ เมื่อคิดประสิทธิภาพในการกรองของทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นร้อยละ พบว่า สามารถลดค่าความขุ่นได้ร้อยละ 95.3±0.1 ค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 97.3±0.5 ค่าซีโอดีได้เท่ากับ 13.4±0.5 ค่าบีโอดีเท่ากับ 15.5±0.6 ค่าสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 21.0±0.7 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 20.6±1.6 คลอโรฟอร์ม แบคทีเรียเท่ากับ 92.2±3.5 ฟีคัลคลอโรฟอร์ม แบคทีเรียเท่ากับ 90.3±2.4 (ดังภาพประกอบ 44) ส่วนค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในตะกอนของระบบบำบัดน้ำมีค่าเท่ากับ 15,860,10,930 และ 4,930 มก./ล. ตามลำดับ

ตาราง 23 คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที

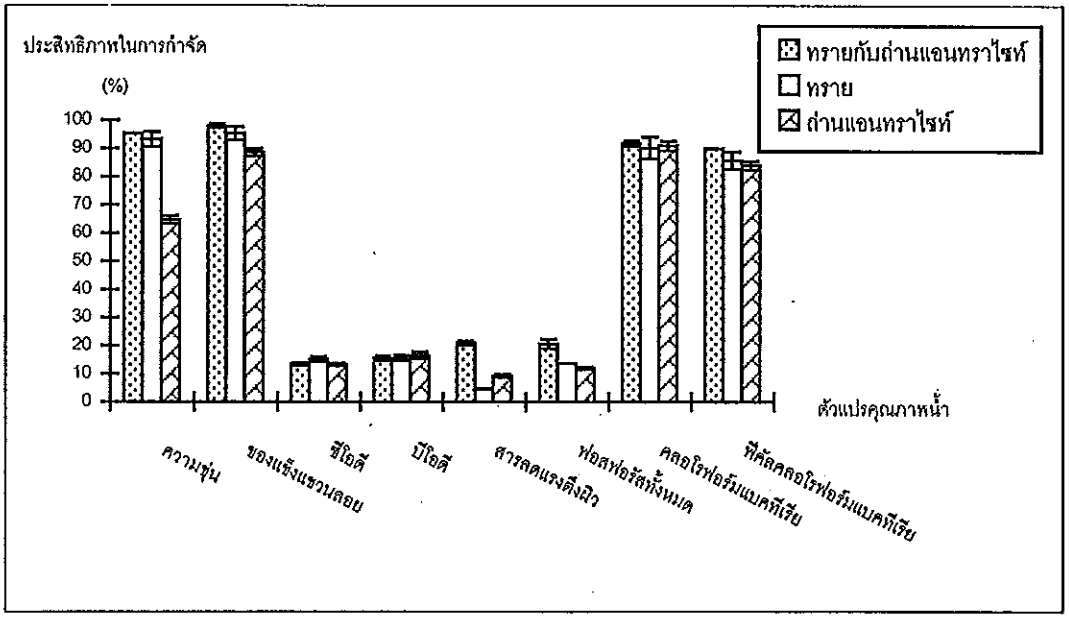
Parameters & Sample	Raw Water	Sedimentation		Filtration	
	Result	Range	Mean±sd	Range	Mean±sd
pH	8.74	5.21-5.28	5.25±0.30	5.00-5.17	5.11±0.08
Turbidity (NTU)	250	32.0-35.0	12.73±0.49	2.32-2.58	2.46±0.11
SS (mg/l)	120	39.0-40.0	15.00±1.15	1.0-1.0	1.0±0.00
COD (mg/l)	1,165	362-368	365.00±3.46	264-268	266.3±2.06
BOD (mg/l)	400	134-140	137.00±2.45	122-124	122.8±0.95
Surfactant (mg/l)	1.82	1.27-1.28	1.27±0.003	1.19-1.22	1.20±0.015
TP (mg/l)	15.06	14.06-14.22	14.20±0.80	12.32-12.60	12.47±0.12
Coliform Bacteria (MPN/100ml)	110,000	15,000-21,000	18,000±1,500	1,500	1,500±0.00
Fecal Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	110,000	900-1,100	950±100	150	150±0.00
ค่าของแข็งของตะกอน	TotalSolids=14,660 mg/l.VolatileSolids=8,690mg/l.FixedSolids=5,970mg /l.				

ตาราง 24 คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายเป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที

Parameters & Sample	Raw Water	Sedimentation		Filtration	
	Result	Range	Mean±sd	Range	Mean±sd
pH	8.66	4.98-5.18	5.10±0.09	4.98-5.17	5.06±0.40
Turbidity (NTU)	218	21.0-24.0	22.75±1.50	0.97-2.12	1.52±0.49
SS (mg/l)	125	24.0-28.0	25.75±1.50	0.90-2.00	1.22±0.53
COD (mg/l)	750	232-238	235.00±2.45	198-203	200.25±3.20
BOD (mg/l)	340	119-124	120.00±1.29	100-103	101.8±1.50
Surfactant (mg/l)	1.43	1.21-1.25	1.23±0.017	1.15-1.19	1.20±0.008
TP (mg/l)	14.12	12.82-13.04	12.96±0.10	11.20	11.20±0.00
Coliform Bacteria(MPN/100 ml)	110,000	4,300-15,000	9,700±4,739	640-930	812±142.92
Fecal Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	46,000	1,400-2,400	1,575±287.23	200-230	218±15.00
ค่าของแข็งของตะกอน	TotalSolids=10,560mg/l.Volatile Solids=5,880 mg/l.FixedSolids=4,680mg/l.				

ตาราง 25 คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอน-ทราไซท์เป็นสารกรองที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที

Parameters & Sample	Raw Water	Sedimentation		Filtration	
	Result	Range	Mean±sd	Range	Mean±sd
pH	8.16	4.92-5.11	4.99±0.09	4.88-5.11	4.96±0.10
SS (mg/l)	146	33.0-37.0	34.75±1.71	0.80-1.20	0.93±0.19
COD (mg/l)	984	352-358	355.00±2.58	305-306	306.75±2.22
BOD (mg/l)	625	175-180	177.3±2.22	148-151	149.8±1.26
Surfactant (mg/l)	1.56	1.15-1.20	1.17±0.024	0.91-0.94	0.92±0.010
TP (mg/l)	14.90	13.66-14.00	13.86±0.17	10.92-11.14	11.00±0.11
Coliform Bacteria (MPN /100 ml)	110,000	2,300-2,800	2,550±288.68	200-210	205.0±5.77
Fecal Coliform Bacteria (MPN /100 ml)	2,100	300-400	325±50.00	30	30.00±0.00
ค่าของแข็งของตะกอน	Total Solids=15,860 mg/l Volitile Solids=10,930mg/l Fixed Solids=4,930mg/l				



ภาพประกอบ 44 ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำซักผ้าของสารกรองแต่ละชนิด ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที

ข. ผลการทดลองที่อัตราการกรอง 41 ล./ม^2-นาที พบว่า คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง จะมีค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในขั้นตอนของกระบวนการตกตะกอนและกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4 ดังแสดงผลในตาราง 26-28 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง พบว่า น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชั่นและตกตะกอน แล้วผ่านการกรองโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองจะมีประสิทธิภาพในการกรองดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ทรายและถ่านแอนทราไซท์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับการทดลองที่อัตราการกรอง 122 ล./ม^2-นาที และเมื่อคิดประสิทธิภาพในการกรองของทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นร้อยละ พบว่า สามารถลดค่าความขุ่นได้ร้อยละ 96.6±0.4 ค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 97.9±0.8 ค่าซีโอดีเท่ากับ 14.6±1.1 ค่าบีโอดีเท่ากับ 16.4±2.8 ค่าสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 21.8±3.2 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 24.8±0.1 คลอโรฟอร์ม แบคทีเรียเท่ากับ 93.0±1.8 ฟีคัลคลอโรฟอร์ม แบคทีเรียเท่ากับ 91.0±2.5 (ดังภาพประกอบ 45) ส่วนค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดของตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย มีค่าเท่ากับ 12,370, 7,460 และ 4,910 มก./ล. ตามลำดับ

ตาราง 26 คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองที่อัตราการกรอง 41 ล./ม^2-นาที

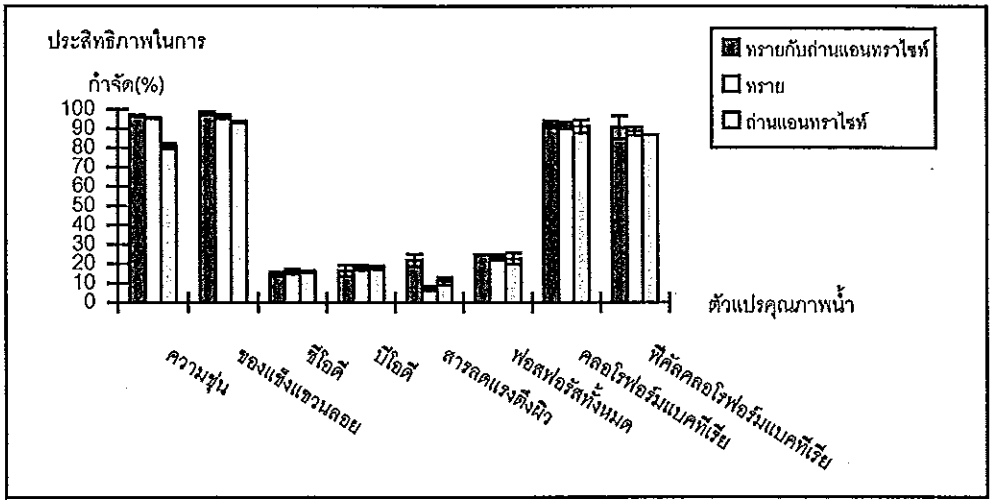
Parameters & Sample	Raw Water	Sedimentation		Filtration	
	Result	Range	Mean±sd	Range	Mean±sd
pH	10.77	5.10-5.18	5.15±0.34	5.00-5.17	5.11±0.08
Turbidity (NTU)	276	12.0-13.0	12.73±0.49	2.32-2.58	2.46±0.11
SS (mg/l)	220	14.0-16.0	15.00±1.15	1.0	1.0±0.00
COD (mg/l)	1,325	315-317	316.50±1.00	264-268	266.3±2.06
BOD (mg/l)	690	135-137	136.50±1.29	122-124	122.8±0.95
Surfactant (mg/l)	1.53	1.26-1.30	1.28±0.016	1.19-1.22	1.20±0.015
TP (mg/l)	10.14	4.70-4.93	4.77±0.11	3.64-3.75	3.70±0.06
Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	21,000	1,500-2,100	1,925±287.23	150-210	165±30.00
Fecal Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	2,300	300	300±0.00	40	40±0.00
ค่าของแข็งของตะกอน	Total Solids= 15,110 mg/l. Volatile Solids= 9,840 mg/l. Fixed Solids= 5,270 mg/l.				

ตาราง 27 คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายเป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที

Parameters & Sample	Raw Water	Sedimentation		Filtration	
	Result	Range	Mean±sd	Range	Mean±sd
pH	10.38	5.08-5.10	5.09±0.01	5.05-5.10	5.07±0.02
Turbidity (NTU)	249	8.45-9.59	8.79±0.60	0.38-0.41	0.40±0.01
SS (mg/l)	198	10.00-11.50	10.88±0.75	0.35-0.55	0.43±0.09
COD (mg/l)	927	237-240	238.00±1.50	195-205	200.0±4.08
BOD (mg/l)	470	110-115	112.0±2.16	90-96	92.0±2.83
Surfactant (mg/l)	1.47	1.25-1.29	1.27±0.020	1.16-1.19	1.17±0.010
TP (mg/l)	9.02	2.41-2.63	2.49±0.11	1.96-1.96	1.96±0.00
Coliform Bacteria (MPN /100 ml)	110,000	6,400-12,000	8,800±3,691	640-750	723±55.0
Fecal Coliform Bacteria (MPN /100 ml)	21,000	1,100-1,500	1,300±231	140-150	145±5.77
ค่าของแข็งของตะกอน	Total Solids=10,700 mg/l Volitile Solids=6,010 mg/l Fixed Solids=4,690 mg/l				

ตาราง 28 คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที

Parameters & Sample	Raw Water	Sedimentation		Filtration	
	Result	Range	Mean±sd	Range	Mean±sd
pH	9.65	4.47-4.57	4.52±0.04	4.47-4.54	4.50±0.03
Turbidity (NTU)	518	24.10-25.60	24.78±0.66	0.74-1.0	0.85±0.10
SS (mg/l)	430	25.0-27.0	26.25±0.96	0.4-0.8	0.55±0.17
COD (mg/l)	2,010	326-334	330.50±3.42	280-285	282.75±2.06
BOD (mg/l)	830	140-148	144.8±3.95	120-122	121.0±0.82
Surfactant (mg/l)	1.99	1.18-1.22	1.20±0.016	0.90-0.97	0.94±0.030
TP (mg/l)	13.66	12.38-12.66	12.51±0.16	9.41-9.52	9.41±0.09
Coliform Bacteria (MPN /100 ml)	110,000	2,000-2,300	2,100±141	150-210	165.0±30.0
Fecal Coliform Bacteria (MPN /100 ml)	9,300	700-900	675±206.16	43-64	53.5±12.12
ค่าของแข็งของตะกอน	Total Solids=12,370 mg/l Volitile Solids=7,460 mg/l Fixed Solids=4,910 mg/l				



ภาพประกอบ 45 ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำซักผ้าของสารกรองแต่ละชนิดที่อัตราการกรอง 41 ล./ม^2-นาที

ค. ผลการทดลองที่อัตราการกรอง 81 ล./ม^2-นาที จากผลการทดลองหาประสิทธิภาพของสารกรองที่อัตราการกรอง 122 และ 41 ล./ม^2-นาที พบว่า กระบวนการกรองโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองจะมีประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีที่สุด ดังนั้นการทดลองที่อัตราการกรอง 81 ล./ม^2-นาที จึงใช้ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ผลการทดลอง พบว่า คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4 จะมีค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในขั้นตอนของกระบวนการตกตะกอนและกระบวนการกรอง ดังแสดงผลในตาราง 29 และเมื่อคิดประสิทธิภาพในการกรองของทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นร้อยละ พบว่า สามารถลดค่าความขุ่นได้ร้อยละ 95.8±0.5 ค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 97.5±0.5 ค่าซีโอดีเท่ากับ 14.5±0.6 ค่าบีโอดีเท่ากับ 15.7±1.7 ค่าสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 21.0±1.5 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 22.3±0.2 คลอโรฟอร์ม แบคทีเรียเท่ากับ 92.1±1.4 ฟีคัลคลอโรฟอร์ม แบคทีเรียเท่ากับ 90.9± 6.2 (ดังแสดงในตาราง 30) ส่วนค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 18,440, 10,800 และ 7,640 มก./ล. ตามลำดับ

ตาราง 29 คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 81 ล./ม^2-นาที

Parameters & Sample	Raw Water	Sedimentation		Filtration	
	Result	Range	Mean±sd	Range	Mean±sd
PH	7.32	4.61-4.69	4.64±0.03	4.58-4.66	4.61±0.08
Turbidity (NTU)	427	35.90-37.90	36.95±0.83	1.31-1.80	1.54±0.20
SS (mg/l)	407	30.0-33.0	31.50±1.29	0.6-1.0	0.80±0.18
COD (mg/l)	1,418	378-382	380.50±1.91	320-329	325.50±4.00
BOD (mg/l)	720	196-200	197.80±1.71	165-170	166.76±2.40
Surfactant (mg/l)	1.71	1.22-1.24	1.23±0.010	0.95-1.00	0.97±0.020
TP (mg/l)	12.77	10.92-11.26	11.10±0.16	8.51-8.74	8.63±0.100
Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	111,000	1,500-2,100	1,900±271.00	120-150	147.50±5.00
Fecal Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	9,300	300-700	675±300	30-70	52.50±20.62
ค่าของแข็งของตะกอน	Total Solids= 18,440 mg/l. Volatile Solids= 10,800 mg/l. Fixed Solids= 7,640 mg/l.				

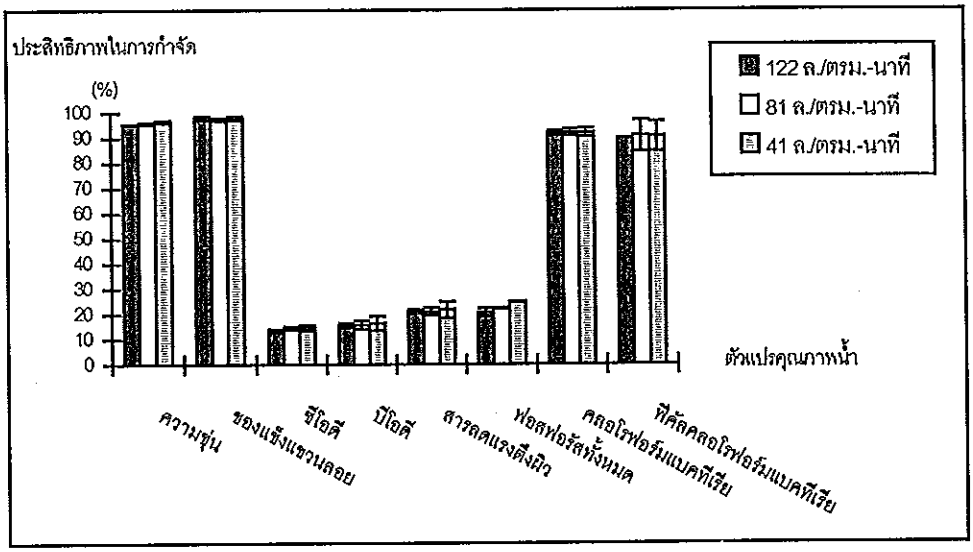
ตาราง 30 ร้อยละของประสิทธิภาพเมื่อใช้ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำซักผ้าที่อัตราการกรอง 81 ล./ม^2-นาที

ตัวแปรคุณภาพน้ำ	ประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ (%)
ความขุ่น	95.8±0.5
ของแข็งแขวนลอย	97.5±0.5
ซีโอดี	14.5±0.6
บีโอดี	15.7±1.7
สารลดแรงตึงผิว	21.0±1.5
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	22.3±0.2
โคลิฟอร์ม แบคทีเรีย	92.1±1.4
ฟีคัลโคลิฟอร์ม แบคทีเรีย	90.9±6.2

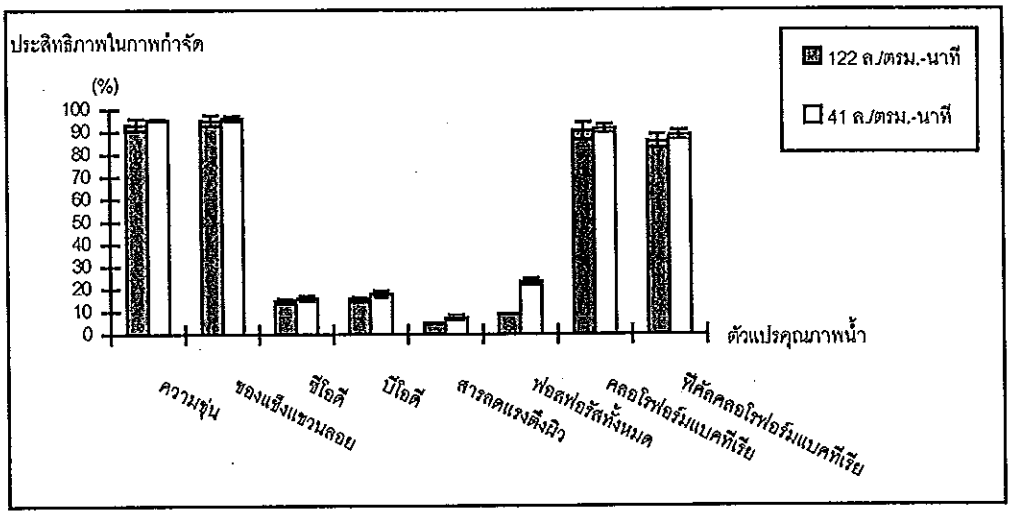
หมายเหตุ : % หมายถึง ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ง.สรุปผลการทดลองหาประสิทธิภาพของสารกรองแต่ละชนิดที่อัตราการกรองแตกต่างกันในน้ำซักผ้า

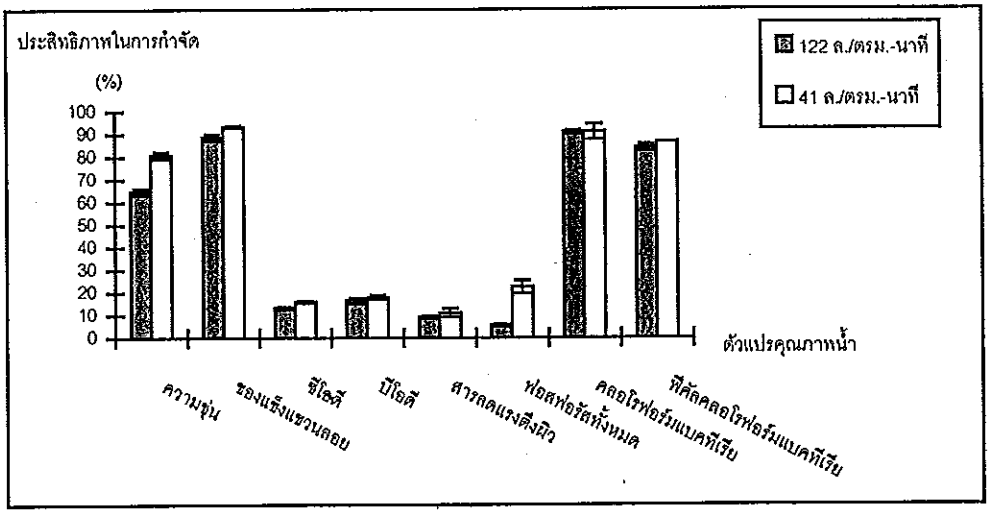
จากผลการทดลอง พบว่า สารกรองทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์ มีประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีที่สุดในทุกอัตราการกรอง รองลงมาได้แก่ ทราย และถ่านแอนทราไซท์ตามลำดับ เมื่อศึกษาเปรียบเทียบร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของอัตราการกรอง พบว่า อัตราการกรองต่ำจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าอัตราการกรองสูง โดยที่อัตราการกรอง41 ล./ม^2-นาที จะมีประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีกว่าอัตราการกรอง 81 และ 122 ล./ม^2-นาที ตามลำดับ โดยที่ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิ-ภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของสารกรองชนิดเดียวกันในทุกอัตราการกรองจะมีค่าใกล้เคียงกัน (ดังภาพประกอบ 46-48)



ภาพประกอบ 46 ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำซักผ้าเมื่อใช้ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองที่อัตราการกรองแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 47 ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำซักผ้าเมื่อใช้ทรายเป็นสารกรอง ที่อัตราการกรองแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 48 ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำซักผ้าเมื่อใช้ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรองแตกต่างกัน

จ. ผลการศึกษาการสูญเสียความดันของสารกรองแต่ละชนิดในน้ำซักผ้า

การศึกษาการสูญเสียความดันของสารกรองแต่ละชนิดในน้ำซักผ้า ที่อัตราการกรอง 122 และ 41 ล./ม^2-นาที ระหว่างชั่วโมงที่ 1-4 จะพิจารณาจากระดับความสูงของน้ำในสายยางจากถังกรอง (ดังแสดงในตาราง 31) และอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ออกจากถังกรอง (ดังแสดงในตาราง 32) พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไประดับความสูงของน้ำในสายยางที่ทุกอัตราการกรองของสารกรองแต่ละชนิดจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นและอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ออกจากถังกรองจะค่อยๆลดลง เนื่องจากการกรองน้ำทำให้มีสารแขวนลอยสะสมอยู่ในชั้นกรองตลอดเวลา ทำให้มีช่องว่างระหว่างสารกรองลดน้อยลง สารกรองจึงมีความฝืดและต้านทานการไหลของน้ำ โดยทรายจะมีการสูญเสียความดันสูงสุด รองลงมาได้แก่ ถ่านแอนทราไซท์ และทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์ ในทุกอัตราการกรอง ตามลำดับ ซึ่งระดับความสูงของน้ำในสายยางจากถังกรองโดยมีทรายเป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม^2-นาที ในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4 เท่ากับ 0, 4, 22 และ 30 ซม. ตามลำดับ และอัตราการไหลของน้ำที่ออกจากถังกรองเท่ากับ 0.557, 0.530, 0.450, 0.300 ล./นาที ตามลำดับ

ส่วนที่อัตราการกรอง 41 ล./ม^2-นาที วัดระดับความสูงของน้ำในสายยางได้เท่ากับ 0, 2, 3.5, และ 12 ซม. ตามลำดับ อัตราการไหลของน้ำที่ออกจากถังกรองกรองเท่ากับ 0.186, 0.171, 0.151 และ 0.127ล./นาที ตามลำดับ และจากตาราง 31 จะสังเกตได้ว่าการสูญเสียความดันที่อัตราการกรอง 122 ล./ม^2-นาที จะเกิดขึ้นในระยะเวลาอันสั้นกว่าที่อัตราการกรอง 41 ล./ม^2-นาที เนื่องจากอัตราการกรองที่สูงจะพาสารแขวนลอยลงสู่ชั้นสารกรองได้มากกว่าอัตราการกรองที่ต่ำ นอกจากนี้การสูญเสียความดันยังศึกษาได้จากค่าความขุ่นและค่าของแข็งแขวนลอยที่เพิ่มขึ้นตามเวลาหรือร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีค่าลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น (ดังตารางผนวก 5-18)

ตาราง 31 การสูญเสียความดันของสารกรองแต่ละชนิดในน้ำซักผ้าที่อัตราการกรองต่างๆ โดยพิจารณาจากระดับความสูงของน้ำในสายยาง (ซม.) ระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ชนิดของสารกรอง						
	ทราย		ถ่านแอนทราไซท์		ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์		
	อัตราการกรอง		อัตราการกรอง		อัตราการกรอง		
	122 ล./ม.^{2}-นาที	41 ล./ม.^{2}-นาที	122 ล./ม.^{2}-นาที	41 ล./ม.^{2}-นาที	122ล./ม.^{2}-นาที	81 ล./ม.^{2}-นาที	41 ล./ม.^{2}-นาที
1	0 ซม.	0 ซม.	0 ซม.	0 ซม.	0 ซม.	0 ซม.	0 ซม.
2	4 ซม.	2.5 ซม.	4 ซม.	2 ซม.	2.5 ซม.	2.5 ซม.	0.5 ซม.
3	22 ซม.	6 ซม.	13 ซม.	5 ซม.	9 ซม.	7 ซม.	3.5 ซม.
4	30 ซม.	28 ซม.	30 ซม.	20 ซม.	23 ซม.	18 ซม.	12 ซม.

ตาราง 32 การสูญเสียความดันของสารกรองแต่ละชนิดในน้ำซักผ้าที่อัตราการกรองต่างๆ โดยพิจารณาจากอัตราการไหลของน้ำที่ออกจากถังกรอง (ล./นาที) ระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ชนิดของสารกรอง						
	ทราย		ถ่านแอนทราไซท์		ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์		
	อัตราการกรอง		อัตราการกรอง		อัตราการกรอง		
	122 ล./ม.^{2}-นาที	41 ล./ม.^{2}-นาที	122 ล./ม.^{2}-นาที	41 ล./ม.^{2}-นาที	122ล./ม.^{2}-นาที	81 ล./ม.^{2}-นาที	41 ล./ม.^{2}-นาที
1	0.557 ล./นาที	0.186 ล./นาที	0.557 ล./นาที	0.186 ล./นาที	0.557 ล./นาที	0.371 ล./นาที	0.186 ล./นาที
2	0.520 ล./นาที	0.161 ล./นาที	0.527 ล./นาที	0.166 ล./นาที	0.545 ล./นาที	0.355 ล./นาที	0.171 ล./นาที
3	0.400 ล./นาที	0.137 ล./นาที	0.450 ล./นาที	0.137 ล./นาที	0.520 ล./นาที	0.320 ล./นาที	0.151 ล./นาที
4	0.250 ล./นาที	0.088 ล./นาที	0.300 ล./นาที	0.108 ล./นาที	0.454 ล./นาที	0.275 ล./นาที	0.127 ล./นาที

2.2.2 การทดลองโดยใช้น้ำรวม

ก่อนการทดลองผ่านน้ำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง ได้ทำการทดสอบหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อดูถึงความสามารถของการก่อตะกอนเช่นเดียวกับการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า พบว่า ที่ปริมาณสารส้ม 450 มก./ล. สามารถก่อตะกอนได้ดีในน้ำรวม จึงใช้สารส้มปริมาณดังกล่าวเป็นสารก่อตะกอนร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารช่วยก่อตะกอนที่ทุกอัตราการกรอง โดยมีสารกรองข้างต้นเป็นสารกรอง โดยมีรายละเอียดของการทดลอง ดังนี้

ก. ผลการทดลองที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที พบว่า คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง จะมีค่าของตัวแปรคุณภาพน้ำในขั้นตอนของกระบวนการตกตะกอนและ

กระบวนการกรองระหว่างชั่วโมงที่ 1-4 ดังแสดงผลในตาราง 33-35 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง พบว่า น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชั่นและตกตะกอน แล้วผ่านการกรองโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองจะมีประสิทธิภาพในการกรองดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ทราย และถ่านแอนทราไซท์ ตามลำดับ และเมื่อคิดประสิทธิภาพในการกรองของทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นร้อยละ พบว่า สามารถลดค่าความขุ่นได้ร้อยละ 98.4±0.0 ค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 98.4±0.4 ค่าซีโอดีเท่ากับ 19.7±0.8 ค่าบีโอดีเท่ากับ 29.8±1.0 ค่าสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 32.0±0.4 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 20.8±3.0 คลอโรฟอร์ม แบคทีเรียเท่ากับ 92.1±2.4 ฟีคัลคลอโรฟอร์ม แบคทีเรียเท่ากับ 91.1±2.6 (ดังภาพประกอบ 49) ส่วนค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดของตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 15,110, 9,840 และ 5,270 มก./ล. ตามลำดับ

ตาราง 33 คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที

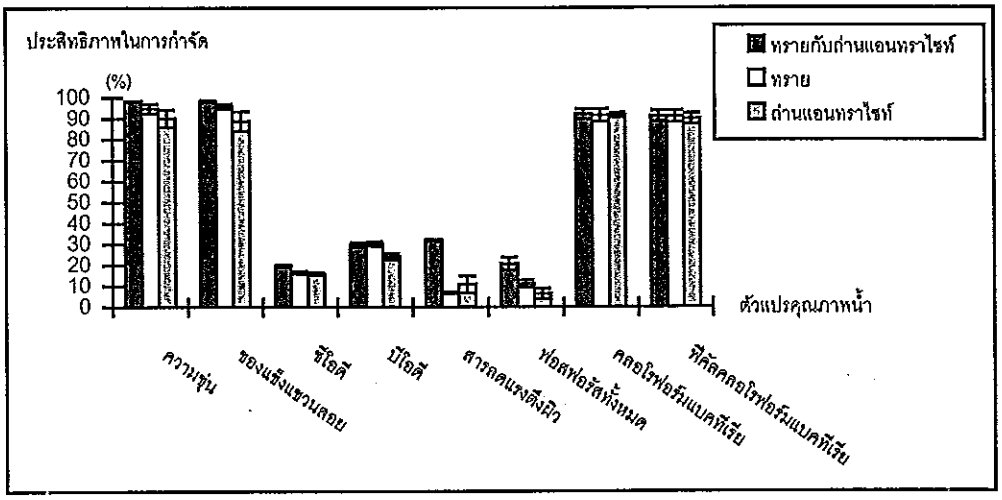
Parameters & Sample	Raw Water	Sedimentation		Filtration	
	Result	Range	Mean±sd	Range	Mean±sd
pH	7.15	4.99-5.24	5.14±0.11	4.97-5.24	5.10±0.14
Turbidity (NTU)	152	15.9-17.5	16.73±0.84	1.32-2.54	1.63±0.61
SS (mg/l)	78	23.0-27.0	25.00±1.63	2.0-4.0	2.75±0.96
COD (mg/l)	783	160-164	162.00±2.06	134-138	136.0±1.83
BOD (mg/l)	240	95-98	96.25±1.50	72-74	73.00±0.82
Surfactant (mg/l)	1.51	1.24-1.29	1.26±0.030	1.10-1.16	1.13±0.03
TP (mg/l)	11.93	10.92-11.26	11.13±0.16	10.25-10.53	10.42±0.14
Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	110,000	9,300-12,000	10,650±1,559	750-930	840±104.00
Fecal Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	24,000	1,500	1,500±0.00	110-200	152.50.±36.86
ค่าของแข็งในตะกอน	Total Solids= 10,040 mg/l. Volatile Solids= 5,740 mg/l. Fixed Solids= 4,300 mg/l.				

ตาราง 34 คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายเป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที

Parameters & Sample	Raw Water	Sedimentation		Filtration	
	Result	Range	Mean±sd	Range	Mean±sd
pH	7.16	4.96-5.21	5.09±0.13	4.96-5.19	5.07±0.12
Turbidity (NTU)	133	24.0-30.0	26.75±2.75	1.0-2.0	1.36±0.44
SS (mg/l)	68	26.0-31.0	28.00±2.45	1.0-1.5	1.18±0.24
COD (mg/l)	304	128-130	128.50±1.00	116-118	117.3±0.96
BOD (mg/l)	195	65-70	67.0±2.45	46-48	46.76±0.96
Surfactant (mg/l)	1.44	1.19-1.22	1.20±0.013	1.11-1.13	1.12±0.009
TP (mg/l)	13.66	12.71-12.88	12.77±0.08	11.20-11.54	11.34±0.17
Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	110,000	700-2,300	1,100±800	70-90	75±10.0
Fecal Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	46,000	400-900	525±250	40	40.0±0.00
ค่าของแข็งของตะกอน	Total Solids = 9,910 mg/l Volitile Solids = 5,860 mg/l Fixed Solids = 4,050 mg/l				

ตาราง 35 คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที

Parameters & Sample	Raw Water	Sedimentation		Filtration	
	Result	Range	Mean±sd	Range	Mean±sd
pH	7.05	4.90-5.10	4.94±0.09	4.88-4.99	4.93±0.05
Turbidity (NTU)	96.1	23.00-24.30	23.63±0.72	0.35-0.43	0.39±0.03
SS (mg/l)	52	27.50-31.0	27.00±3.19	0.3-0.5	0.45±0.10
COD (mg/l)	356	120-124	124.00±2.00	97-100	98.75±1.50
BOD (mg/l)	168	59-62	42.50±1.00	42-44	108.50±1.92
Surfactant (mg/l)	1.34	1.20-1.23	1.17±0.024	0.82-0.83	0.83±0.010
TP (mg/l)	12.60	11.98-12.10	12.00±0.06	9.13-9.80	9.50±0.34
Coliform Bacteria (MPN /100 ml)	110,000	15,000-21,00	1,7750±3,202	1,200-1,500	1,350±173.20
Fecal Coliform Bacteria (MPN /100 ml)	46,000	1,100-1,500	1,300±88.26	90-140	112.50±20.62
ค่าของแข็งของตะกอน	Total Solids= 15,110 mg/l Volitile Solids= 9,840 mg/l Fixed Solids= 5,270 mg/l				



ภาพประกอบ 49 ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำรวมของสารกรองแต่ละชนิดที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}- นาที

ข. ผลการทดลองที่อัตราการกรอง 41 ล./ม^2-นาที พบว่า คุณภาพน้ำรวมที่ได้ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง จะมีค่าของตัวแปรคุณภาพน้ำในขั้นตอนของกระบวนการตกตะกอนและกระบวนการกรอง ระหว่างชั่วโมงที่ 1-4 ดังแสดงผลในตาราง 36-38 ตามลำดับ และเมื่อคิดประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองเป็นร้อยละ พบว่า น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชั่นและตกตะกอน แล้วผ่านการกรองโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองจะมีประสิทธิภาพในการกรองดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ทราย และถ่านแอนทราไซท์ ตามลำดับ และเมื่อคิดประสิทธิภาพในการกรองของทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นร้อยละ พบว่า สามารถลดค่าความขุ่นเท่ากับ 98.5±0.1 ค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 98.7±0.4 ค่าซีโอดีเท่ากับ 29.8±0.3 ค่าบีโอดีเท่ากับ 34.6±2.1 ค่าสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 32.4±0.9 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 28.0±0.9 คลอโรฟอร์ม แบคทีเรียเท่ากับ 94.8±0.6 ฟีคัลคลอโรฟอร์มแบคทีเรียเท่ากับ 92.7±2.3 (ดังภาพประกอบ 50) ส่วนค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 10,610, 5,750 และ 4,860 มก./ล. ตามลำดับ

ตาราง 36 คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที

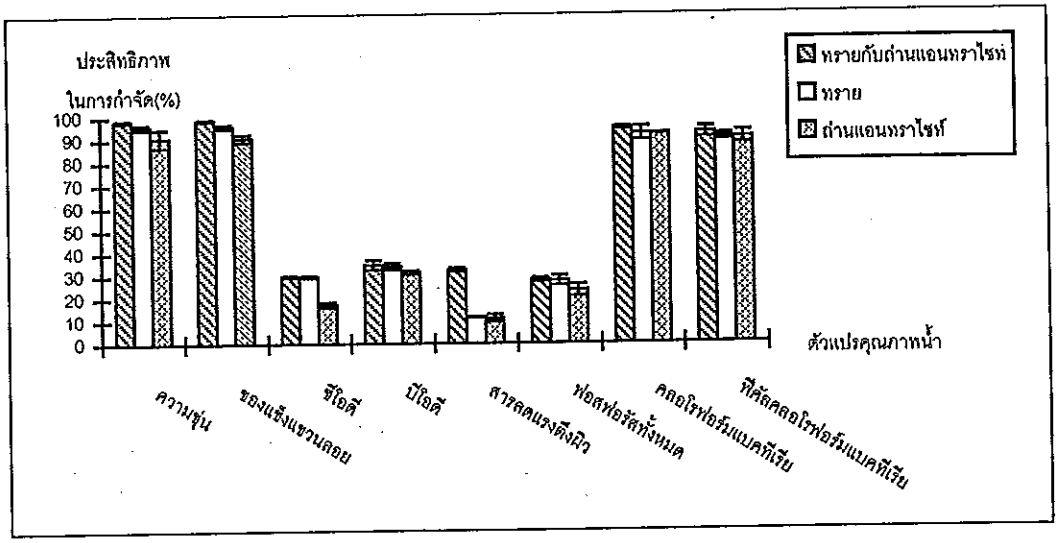
Parameters & Sample	Raw Water	Sedimentation		Filtration	
	Result	Range	Mean±sd	Range	Mean±sd
pH	9.53	5.89-5.91	5.90±0.01	5.87-5.89	5.88±0.01
Turbidity (NTU)	99	8.73-9.80	9.15±0.51	0.58-1.40	0.85±0.40
SS (mg/l)	54	10.2-13.0	11.47±1.15	1.50-2.10	1.70±0.27
COD (mg/l)	470	131-135	133.0±1.92	107-114	109.75±3.10
BOD (mg/l)	213	71-76	72.80±2.06	48-52	50.0±1.83
Surfactant (mg/l)	1.40	1.28-1.30	1.29±0.011	1.16-1.18	1.17±0.010
TP (mg/l)	6.55	0.84-1.06	0.95±0.09	0.67-0.78	0.73±0.04
Coliform Bacteria (MPN /100 ml)	110,000	12,000-15,00	13,500±1,732	930-1,200	1,065±155.88
Fecal Coliform Bacteria (MPN /100 ml)	46,000	1,500-2,100	1,800±346.41	150-210	165±30.40
ค่าของแข็งของตะกอน	Total Solids = 9,580 mg/l Volitile Solids = 6,000 mg/l Fixed Solids = 3,580 mg/l				

ตาราง 37 คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายเป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที

Parameters & Sample	Raw Water	Sedimentation		Filtration	
	Result	Range	Mean±sd	Range	Mean±sd
pH	9.38	5.98-6.16	6.10±0.08	5.96-6.12	6.02±0.07
Turbidity (NTU)	155	30.0-31.10	30.60±0.50	1.10-1.23	1.15±0.06
SS (mg/l)	97	27.0-30.0	29.25±0.50	1.0-1.6	1.20±0.28
COD (mg/l)	707	285-288	286.00±1.50	200-203	201.75±1.26
BOD (mg/l)	520	195-198	149.0±1.15	95-100	98.50±2.38
Surfactant (mg/l)	1.34	1.29-1.33	1.31±0.009	1.14-1.17	1.16±0.015
TP (mg/l)	7.62	2.35-2.69	2.49±0.17	1.68-1.90	1.81±0.09
Coliform Bacteria (MPN /100 ml)	110,000	900-1,500	1,150±251.66	70-110	85.0±19.16
Fecal Coliform Bacteria (MPN /100 ml)	9,300	300-400	325.0±32.50	30-40	32.50±5.00
ค่าของแข็งของตะกอน	Total Solids = 8,910 mg/l Volitile Solids = 5,580 mg/l Fixed Solids = 3,330 mg/l				

ตาราง 38 คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์ เป็นสารกรองที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที

Parameters & Sample	Raw Water	Sedimentation		Filtration	
	Result	Range	Mean±sd	Range	Mean±sd
pH	6.66	4.79-4.85	4.82±0.03	4.68-4.81	4.75±0.05
Turbidity (NTU)	234	24.70-25.20	24.95±0.21	0.36-0.42	0.39±0.03
SS (mg/l)	263	29.0-33.0	31.25±1.71	0.3-0.6	0.42±0.12
COD (mg/l)	775	246-251	248.00±2.45	172-177	174.00±2.20
BOD (mg/l)	292	87-90	88.80±1.50	57-60	58.0±2.10
Surfactant (mg/l)	1.41	1.26-1.28	1.27±0.008	0.85-0.88	0.86±0.014
TP (mg/l)	12.26	9.91-10.08	9.98±0.07	7.06-7.28	7.18±0.11
Coliform Bacteria (MPN /100 ml)	110,000	7,500-9,300	8,400±1,039	300-700	450.0±173.21
Fecal Coliform Bacteria (MPN /100 ml)	9,300	430-430	430.0±0.00	30	30.00±0.00
ค่าของแข็งของตะกอน	Total Solids= 10,610 mg/l Volitile Solids= 5,750 mg/l Fixed Solids= 4,860 mg/l				



ภาพประกอบ 50 ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำรวม เมื่อใช้สารกรองแต่ละชนิดที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที

ค. จากการทดลองหาประสิทธิภาพของสารกรองที่อัตราการกรอง 122 ล./ม^2-นาที และ 41 ล./ม^2-นาที ในน้ำรวม สรุปได้ว่า ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์ มีประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีที่สุด ดังนั้นการทดลองที่อัตราการกรอง 81 ล./ม^2-นาที จึงใช้ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ผลการทดลอง พบว่า น้ำเสียรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง จะมีค่าของตัวแปรคุณภาพน้ำในขั้นตอนของกระบวนการตกตะกอนและกระบวนการกรอง ระหว่างชั่วโมงที่ 1-4 ดังแสดงผลในตาราง 39 และเมื่อคิดประสิทธิภาพในการกรองของทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นร้อยละ พบว่า สามารถลดค่าความขุ่นได้ร้อยละ 98.4±0.1 ค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 98.3±0.5 ค่าซีโอดีเท่ากับ 22.7±1.0 ค่าบีโอดีเท่ากับ 30.1±0.4 ค่าสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 31.2±2.7 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 22.0±1.7 คลอโรฟอร์ม แบคทีเรียเท่ากับ 92.4±2.1 ฟีคัลคลอโรฟอร์ม แบคทีเรียเท่ากับ 92.5±1.9 (ดังแสดงในตาราง 40) ส่วนค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 8,070, 4,500 และ 3,570 มก./ล. ตามลำดับ

ตาราง 39 คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 81 ล./ม^2-นาที

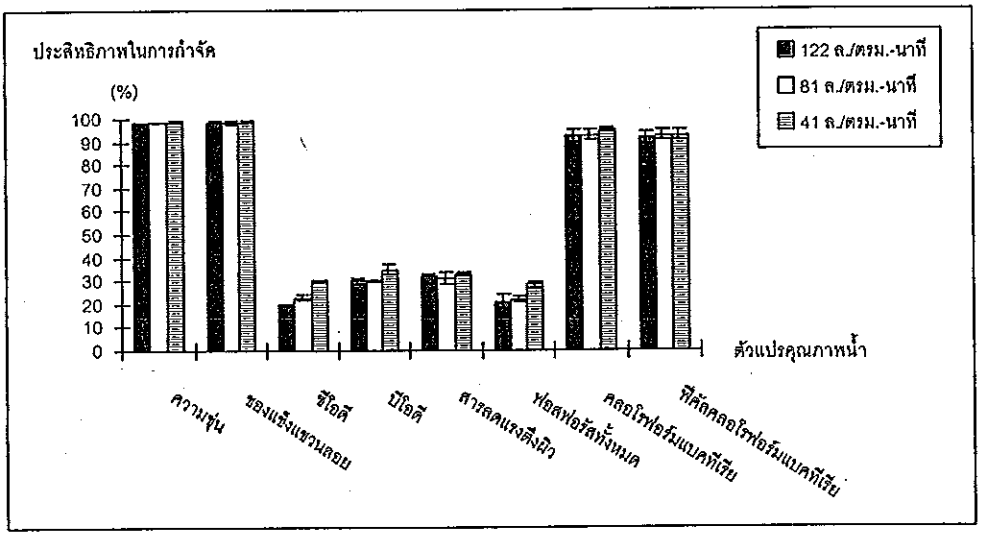
Parameters & Sample	Raw Water	Sedimentation		Filtration	
	Result	Range	Mean±sd	Range	Mean±sd
pH	6.97	4.94-5.10	4.64±0.03	4.93-4.99	4.96±0.03
Turbidity (NTU)	147	25.80-27.00	26.40±0.59	0.39-0.46	0.42±0.03
SS (mg/l)	68	25.0-30.0	27.50±2.38	0.40-0.50	0.45±0.03
COD (mg/l)	600	230-232	231.00±0.96	176-180	178.50±1.91
BOD (mg/l)	324	134-136	104.00±0.96	93-95	94.25±0.96
Surfactant (mg/l)	1.32	1.12-1.16	1.14±0.02	0.76-0.81	0.79±0.02
TP (mg/l)	12.71	10.02-10.98	10.50±0.47	8.01-8.40	8.19±0.19
Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	110,000	7,500-9,300	8,400±675.00	390-930	650.0±221.00
Fecal Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	9,300	1,400-1,500	1,450±57.74	90-140	107.50±23.63
ค่าของแข็งของตะกอน	Total Solids = 8,070 mg/l. Volatile Solids= 4,500 mg/l Fixed Solids = 3,570 mg/l				

ตาราง 40 ประสิทธิภาพของทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์ในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำ - รวม ที่อัตราการกรอง 81 ล./ม^2-นาที

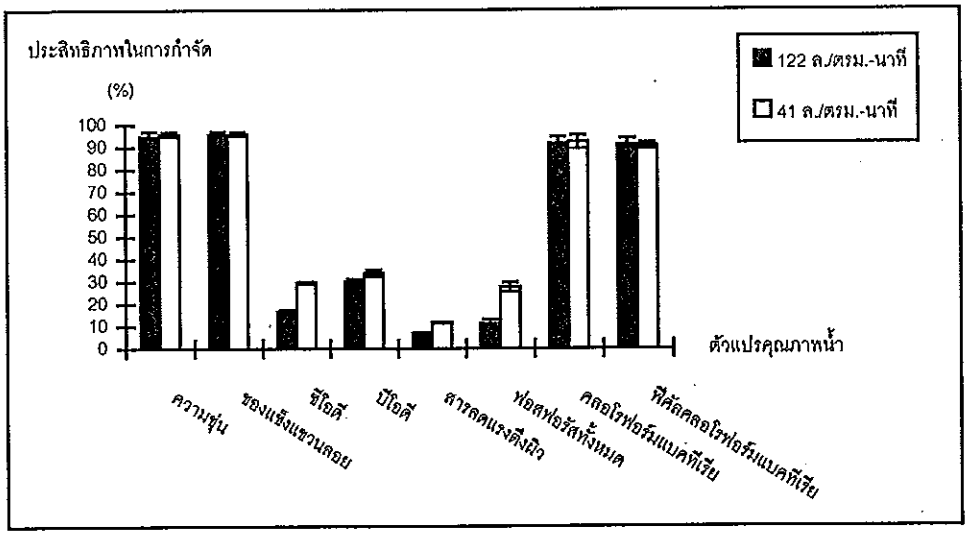
ตัวแปรคุณภาพน้ำ	ร้อยละในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ
ความขุ่น	98.4±0.1
ของแข็งแขวนลอย	98.3±0.5
ซีโอดี	22.7±1.0
บีโอดี	30.1±0.4
สารลดแรงตึงผิว	31.2±2.7
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	22.0±1.7
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	92.4±2.1
ฟีคัลโคลิฟอร์ม แบคทีเรีย	92.5±1.9

ง. สรุปผลการทดลองหาประสิทธิภาพของสารกรองแต่ละชนิดที่อัตราการกรองแตกต่างกัน ในน้ำรวม

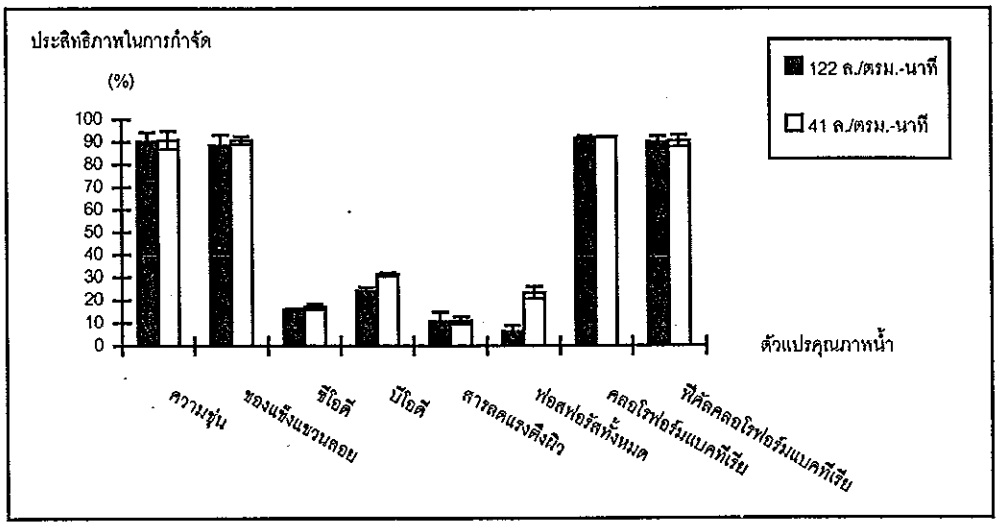
จากผลการทดลอง พบว่า ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์ มีประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีที่สุดในทุกอัตราการกรอง รองลงมา ได้แก่ ทราย และถ่านแอนทราไซท์ ตามลำดับ โดยอัตราการกรองต่ำจะมีประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีกว่าอัตราการกรองสูง โดยที่ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของสารกรองชนิดเดียวกันที่ทุกอัตราการกรองจะมีค่าใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า ดังภาพประกอบ 51-53



ภาพประกอบ 51 ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำรวม เมื่อใช้ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองที่อัตราการกรองแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 52 ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำรวมเมื่อใช้ทรายเป็นสารกรอง ที่อัตราการกรองแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 53 ร้อยละของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำรวมเมื่อใช้ถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรองแตกต่างกัน

จ. ผลการศึกษาการสูญเสียความดันของสารกรองแต่ละชนิดในน้ำรวม

การศึกษาการสูญเสียความดันของสารกรองแต่ละชนิดในน้ำรวม จะศึกษาเช่นเดียวกันกับการทดลองในน้ำซักผ้า พบว่า ผลการทดลองเป็นไปแนวทางเดียวกับการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า โดยที่อัตราการกรอง 122 ล./ม^2-นาที วัดระดับความสูงของน้ำในสายยางจากการกรองของทรายระหว่างชั่วโมงที่ 1-4 ได้เท่ากับ 0, 4, 20 และ 30 ซม. ตามลำดับ ส่วนที่อัตราการกรอง 41 ล./ม^2-นาที เท่ากับ 0, 2, 10 และ 26 ซม. ตามลำดับ (ดังแสดงในตาราง 41) อัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ออกจากถังกรองที่อัตราการกรอง 122 ล./ม^2-นาที ในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4 เท่ากับ 0.557, 0.500, 0.480, 0.290 ล./นาที ตามลำดับ และที่อัตราการกรอง 41 ล./ม^2-นาที เท่ากับ 0.186, 0.156, 0.132 และ 0.078 ล./นาที ตามลำดับ (ดังแสดงในตาราง 42) นอกจากนี้ค่าของการสูญเสียความดันยังสังเกตได้จากค่าของความขุ่นและค่าของแข็งแขวนลอยที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาหรือร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีค่าลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

ตาราง 41 การสูญเสียความดันของสารกรองแต่ละชนิดในน้ำรวม ที่อัตราการกรองต่างๆ โดยพิจารณาจากระดับความสูงของน้ำในสายยาง (ซม.) ระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ชนิดของสารกรอง						
	ทราย		ถ่านแอนทราไซท์		ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์		
	อัตราการกรอง		อัตราการกรอง		อัตราการกรอง		
	122 ล./ม.^{2}-นาที	41 ล./ม.^{2}-นาที	122 ล./ม.^{2}-นาที	41 ล./ม.^{2}-นาที	122 ล./ม.^{2}-นาที	81 ล./ม.^{2}-นาที	41 ล./ม.^{2}-นาที
1	0 ซม.	0 ซม.	0 ซม.	0 ซม.	0 ซม.	0 ซม.	0 ซม.
2	4 ซม.	2 ซม.	1 ซม.	0 ซม.	1.5 ซม.	1.5 ซม.	0 ซม.
3	20 ซม.	10 ซม.	8 ซม.	4 ซม.	7 ซม.	5 ซม.	3 ซม.
4	30 ซม.	26 ซม.	28 ซม.	18 ซม.	17 ซม.	13 ซม.	9 ซม.

ตาราง 42 การสูญเสียความดันของสารกรองแต่ละชนิดในน้ำรวมที่อัตราการกรองต่างๆ โดยพิจารณาจากอัตราการไหลของน้ำที่ออกจากถังกรอง (ล./นาที) ระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ชนิดของสารกรอง						
	ทราย		ถ่านแอนทราไซท์		ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์		
	อัตราการกรอง		อัตราการกรอง		อัตราการกรอง		
	122 ล./ม.^{2}-นาที	41 ล./ม.^{2}-นาที	122 ล./ม.^{2}-นาที	41 ล./ม.^{2}-นาที	122 ล./ม.^{2}-นาที	81 ล./ม.^{2}-นาที	41 ล./ม.^{2}-นาที
1	0.557 ล./นาที	0.186 ล./นาที	0.557 ล./นาที	0.186 ล./นาที	0.557 ล./นาที	0.371 ล./นาที	0.186 ล./นาที
2	0.500 ล./นาที	0.160 ล./นาที	0.545 ล./นาที	0.180 ล./นาที	0.545 ล./นาที	0.365 ล./นาที	0.180 ล./นาที
3	0.480 ล./นาที	0.135 ล./นาที	0.490 ล./นาที	0.170 ล./นาที	0.520 ล./นาที	0.340 ล./นาที	0.170 ล./นาที
4	0.290 ล./นาที	0.080 ล./นาที	0.400 ล./นาที	0 .140 ล./นาที	0.470 ล./นาที	0.300 ล./นาที	0.150 ล./นาที

2.2.3 ผลการศึกษาตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

การศึกษาตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง จะศึกษาปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในถังตกตะกอน ในรูปของของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ของแข็งระเหยได้ (Volatile Solids) และของแข็งคงตัวทั้งหมด (Fixed Solids) ทั้งในการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าและน้ำรวม ที่ทุกอัตราน้ำเข้าสู่ระบบซึ่งจะเท่ากันกับอัตราการกรองทุกอัตราการกรองของถังกรองข้างต้น ผลการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้า พบว่า ที่อัตราน้ำเข้า 122 ล./ม^2-นาที จะมีค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมด มีค่าอยู่ระหว่าง 14,660-15,860, 5,880-10,930 และ 4,680-5,970 มก./ล. ตามลำดับ ในแต่ละการทดลอง และผลการทดลองที่อัตราน้ำเข้า 41 ล./ม^2-นาที มีค่าอยู่ระหว่าง 10,700-15,110, 6,010-9,840 และ 4,690-9,840 มก./ล. (ดังแสดงในตารางผนวก 21)

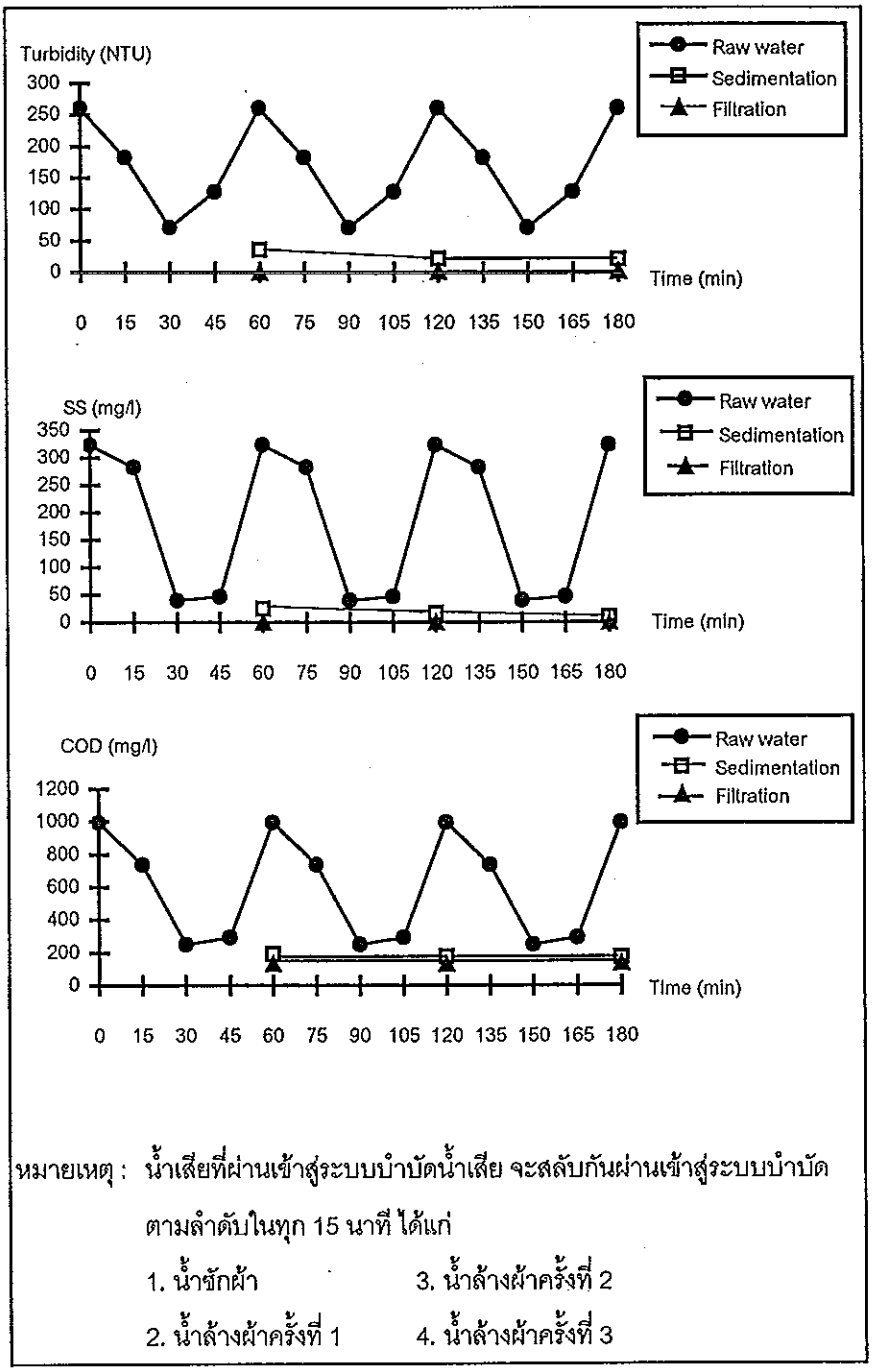
ส่วนผลการทดลองโดยใช้น้ำรวม ที่อัตราน้ำเข้า 122 ล./ม^2-นาที จะมีค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมด มีค่าอยู่ในช่วง 9,910-15,110, 5,740-9,840 และ 4,050-5,270 มก./ล. ตามลำดับ และผลการทดลองที่อัตราน้ำเข้า 41 ล./ม^2-นาที มีค่าอยู่ในช่วง 8,910-10,620, 5,580-6,000 และ 3,300-4,860 มก./ล. (ดังแสดงในตารางผนวก 22)

และเมื่อเปรียบเทียบค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมด จากการทดลองในน้ำซักผ้าและน้ำรวมที่อัตราน้ำเข้าเดียวกัน พบว่า ค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดในน้ำซักผ้าจะมีค่าสูงกว่าในน้ำรวม เนื่องมาจากน้ำซักผ้าจะมีความเข้มข้นของสารแขวนลอย รวมทั้งปริมาณสารก่อตะกอนที่ใช้ในการทดลองสูงกว่าในน้ำรวม นอกจากนี้จากการสังเกตปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในถังตกตะกอน โดยการวัดระดับตะกอนทุกชั่วโมง พบว่าตะกอนในน้ำซักผ้าจะมีระดับตะกอนสูงกว่าระดับตะกอนในน้ำรวม และปริมาณตะกอนจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลา ในทุกการทดลองทั้งน้ำซักผ้าและน้ำรวม

2.2.4 การทดลองโดยใช้น้ำเสียที่เกิดจากการซักและล้างผ้าสลับกันในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

การทดลองในหัวข้อนี้ใช้น้ำเสียจากขั้นตอนการซัก การล้างผ้าครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 นำมาผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย สลับกันไปในทุก 15 นาที ตามลำดับ ซึ่งเวลาดังกล่าวเป็นเวลาเฉลี่ยของแต่ละขั้นตอนของเครื่องซักผ้า กระบวนการโคแอกกูเลชั่นจะใช้สารส้มเป็นสารก่อตะกอนในถังกวนเร็ว โดยใช้ปริมาณสารส้ม 1,625 มก./ล. ในน้ำซักผ้าและน้ำล้างผ้าครั้งที่ 1 สลับกับการใช้ปริมาณสารส้ม 450 มก./ล. เมื่อผ่านน้ำล้างครั้งที่ 2 และน้ำล้างครั้งที่ 3 เข้าสู่ระบบบำบัด โดยมีสารโพลิเมอร์ประจุลบปริมาณ 5 มก./ล. เป็นสารช่วยก่อตะกอนในถังกวนช้า ส่วนกระบวนการกรองใช้ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง โดยใช้อัตราการกรอง 41 ล./ม^2-นาที ทำ

การเดินระบบอย่างต่อเนื่องภายใน 3 ชั่วโมง ผลการทดลอง พบว่า คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัด จะมีค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในขั้นตอนของกระบวนการตกตะกอนและกระบวนการกรองระหว่างชั่วโมงที่ 1-3 ดังแสดงผลในตารางผนวก 19 และภาพประกอบ 54 เมื่อคิดประสิทธิภาพของการตกตะกอนเป็นค่าเฉลี่ยของร้อยละในเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า สามารถลดค่าความขุ่นได้ร้อยละ 86.3±1.9 ค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 91.7±2.7 ค่าซีโอดีเท่ากับ 68.4±1.6 ค่าบีโอดีเท่ากับ 67.4±1.6 ค่าสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 11.8±0.4 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 61.4±0.7 คลอโรฟอร์ม แบคทีเรียเท่ากับ 96.5±1.3 ฟีคัลคลอโรฟอร์ม แบคทีเรียเท่ากับ 83.9±7.2 ส่วนประสิทธิภาพในการกรองของทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์ พบว่า สามารถลดค่าความขุ่นได้ร้อยละ 97.5±0.8 ค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 98.3±0.7 ค่าซีโอดีเท่ากับ 29.0±3.2 ค่าบีโอดีเท่ากับ 32.8±1.9 ค่าสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 35.8±0.9 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 27.9±1.3 คลอโรฟอร์มแบคทีเรียเท่ากับ 92.1±1.1 ฟีคัลคลอโรฟอร์ม แบคทีเรียเท่ากับ 95.5±2.9 ในส่วนลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองข้างต้น โดยมีค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดเท่ากับ 11,100, 6,930 และ 4,170 มก./ล. ตามลำดับ



หมายเหตุ : น้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย จะสลับกันผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดตามลำดับในทุก 15 นาที ได้แก่

1. น้ำซักผ้า
2. น้ำล้างผ้าครั้งที่ 1
3. น้ำล้างผ้าครั้งที่ 2
4. น้ำล้างผ้าครั้งที่ 3

ภาพประกอบ 54 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียในการลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย และซีโอดี เมื่อสลับน้ำเสียแต่ละชนิดผ่านเข้าสู่ระบบทุก 15 นาที

ส่วนผลการศึกษาการสูญเสียความดันของการกรองในการทดลองนี้ จะพิจารณาจากระดับความสูงของน้ำในสายยางจากถังกรองและอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ออกจากถังกรอง เช่นกัน พบว่า การสูญเสียความดันในระหว่างชั่วโมงที่ 1-3 วัดความสูงของระดับน้ำในสายยางได้เท่ากับ 0, 2 และ 5 ซม. อัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ออกจากถังกรองเท่ากับ 0.186, 0.171 และ 0.166 ล./นาที ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าของการสูญเสียความดันยังสังเกตได้จากคุณภาพน้ำทิ้งที่ออกจากถังกรองในเรื่องของค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอย ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น เช่นกัน (ดังแสดงในตารางผนวก 15) และเมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียความดันกับการทดลองเดินระบบโดยใช้น้ำซักผ้าหรือน้ำเสียรวมผ่านเข้าสู่ระบบเพียงชนิดเดียว ที่อัตราการกรองเดียวกัน คือ 41 ล./ม.^{2}-นาที พบว่า การสูญเสียความดันในการทดลองในหัวข้อนี้ จะเกิดการสูญเสียความดันช้ากว่าการทดลองเดินระบบที่ใช้น้ำซักผ้าหรือน้ำเสียรวมผ่านเข้าสู่ระบบเพียงชนิดเดียว เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำซักผ้าและน้ำเสียรวมที่เข้าสู่ระบบจะมีความเข้มข้นของสิ่งเจือปนต่างๆ สูงกว่าน้ำล้างผ้าครั้งที่ 1, 2 และ 3 จึงทำให้สารแขวนลอยต่างๆ สะสมอยู่ในชั้นสารกรองได้มากกว่า เกิดการอุดตันเร็วกว่า การสูญเสียความดันจึงเกิดขึ้นในเวลาที่เร็วกว่า ในขณะที่การทดลองในหัวข้อนี้ ใช้น้ำซักผ้าและน้ำล้างผ้าแต่ละครั้งสลับกันเข้าสู่ระบบในทุก 15 นาที ความเข้มข้นของสารแขวนลอยในน้ำเสียแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปตามชนิดของน้ำเสียแต่ละขั้นตอน โดยจากความเข้มข้นมากไปหาน้อยสลับกันไป จึงทำให้สารแขวนลอยผ่านเข้าสู่ระบบในระยะเวลาที่สั้นกว่า จึงมีปริมาณสารแขวนลอยสะสมอยู่ในชั้นสารกรองน้อยกว่า

บทที่ 4

บทวิจารณ์

1. ปริมาณและลักษณะสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด

1.1 ลักษณะโดยรวมของกิจกรรมซักรีด

จากการศึกษาลักษณะกิจกรรมซักรีด 4 ประเภท พบว่า ลักษณะการดำเนินการซักรีดจะมี 2 ลักษณะ คือ

1.1.1 สถานประกอบการเพื่อการค้า ได้แก่ ร้านซักรีดทั่วไปและโรงงานทักษิณซักรีด ซึ่งร้านซักรีดทั่วไปจะรับจ้างซักอบรีดจากลูกค้าทั่วไป ซึ่งเป็นเสื้อผ้าจากครัวเรือนและมีจำนวนผ้าไม่มากนักในแต่ละรายที่มารับบริการ ส่วนโรงงานทักษิณซักรีดจะรับจ้างซักอบรีดผ้าจากลูกค้าที่มีผ้าส่งในจำนวนมาก จะไม่รับลูกค้าที่มีจำนวนผ้าน้อยๆ หรือรายบุคคล เนื่องจากเครื่องซักผ้าของโรงงานต่างเป็นขนาดใหญ่ทั้งสิ้น ทั้งยังไม่ใช่นโยบายในการให้บริการของผู้ประกอบการ ผ้าที่รับจ้างจะมาจากโรงพยาบาลราษฎร์ยินดีและโรงแรมขนาดเล็กที่ไม่มีกิจกรรมซักรีดเป็นของตนเองเป็นหลัก

1.1.2 กิจกรรมซักรีดภายในสถานประกอบการนั้นๆ เอง ได้แก่ กิจกรรมซักรีดในโรงแรมขนาดใหญ่และในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ที่มีกิจกรรมซักรีดเป็นของตนเอง จะดำเนินการซักอบรีดผ้าที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมภายในสถานประกอบการนั้นๆ เอง เช่น ผ้าปูที่นอน ปลอกหมอน เป็นต้น

ขั้นตอนของกระบวนการซักผ้าในกิจกรรมซักรีดแต่ละประเภทจะมีขั้นตอนในกระบวนการซักที่คล้ายคลึงกัน โดยประกอบด้วยขั้นตอนการซัก การล้างผ้า และการอบผ้า จะแตกต่างกันบ้างในเรื่องของการตั้งโปรแกรมการซักของผู้ประกอบการว่า ในกระบวนการซักจะประกอบด้วยขั้นตอนการล้างผ้ากี่ครั้ง การใช้น้ำร้อนหรือน้ำเย็น ระยะเวลาในการซัก และสารเคมีที่เติมลงไปในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการซัก เช่น กิจกรรมซักรีดในโรงแรมลีการ์เดนท์และโรงงานทักษิณซักรีดจะมีการเติมผงล้างผ้าลงไปในน้ำล้างผ้าครั้งที่ 1 เพื่อช่วยขจัดผงซักฟอกออกจากเนื้อผ้า ทำให้ง่ายต่อการล้างผ้าในน้ำต่อไป ซึ่งอาจส่งผลต่อการลดขั้นตอนของการล้างผ้าลงมา เช่น จากการใช้น้ำล้างผ้า 3 ครั้ง ลดลงเหลือ 2 ครั้ง เป็นต้น ซึ่งช่วยให้ประหยัดเวลาในกระบวนการซักและประหยัดน้ำได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ในการศึกษากระบวนการซักของกิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลและโรงงานทักษิณซักรีด พบว่า จะมีความแตกต่างจากกิจกรรมซักรีดประเภทอื่นๆ โดยในขั้นตอนการซักจะมีการเติมสารฟอกขาวลงไป เนื่องมาจากผ้าที่ซักของกิจกรรมซักรีดทั้งสองประเภทจะเป็นผ้าขาวและมีการ

ปนเปื้อนของสารคัดหลั่งจากผู้ป่วยอย่างเห็นได้ชัด จึงจำเป็นต้องใช้สารฟอกขาวช่วยในการทำความสะอาดเสื้อผ้าร่วมกับผงซักฟอก ซึ่งจะช่วยทำความสะอาดเสื้อผ้าได้ดีกว่าการใช้ผงซักฟอกเพียงอย่างเดียว อีกทั้งสารฟอกขาวยังเป็นสารประกอบจำพวกไฮเปอร์คลอไรด์ ซึ่งมีผลในการฆ่าเชื้อโรคอีกด้วย

และจากผลการศึกษาปริมาณผ้าที่ซักต่อวัน ปริมาณการใช้น้ำและปริมาณน้ำเสียในแต่ละวันจากกิจกรรมซักรีดแต่ละประเภท พบว่า ร้านซักรีดทั่วไป ร้านซักรีดภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลหาดใหญ่ ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ในโรงแรมและโรงงานทักษิณซักรีด มีปริมาณผ้าที่ซักประมาณ 25-280 กก./วัน, 150 กก./วัน, 3,300 กก./วัน, 4,000 กก./วัน, 1,120-1,200 กก./วันและ 1,480 กก./วัน ตามลำดับ ส่วนปริมาณการใช้น้ำต่อวันประมาณวันละ 0.6-2.7 ม.^{3}, 1.65ม.^{3}, 40.21 ม.^{3}, 59.4 ม.^{3}, 16.8-18.0 ม.^{3} และ 28.8 ม.^{3} ตามลำดับ และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณวันละ 0.58-2.43 ม.^{3} , 1.48 ม.^{3} , 39.81 ม.^{3} , 58.81 ม.^{3} , 16.63-17.82 ม.^{3} และ 28.51 ม.^{3} ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณผ้าที่ซัก ปริมาณน้ำใช้และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละประเภทกิจกรรมซักรีด พบว่า กิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์มีปริมาณผ้าที่ซัก ปริมาณน้ำใช้และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมากที่สุด รองลงมาได้แก่ กิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลหาดใหญ่ โรงงานทักษิณซักรีด กิจกรรมซักรีดในโรงแรมลีการ์เดนท์ และร้านซักรีดทั่วไป (รวมทั้งร้านซักรีดในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์) ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าปริมาณผ้าที่ซักต่อวันในแต่ละกิจกรรมซักรีดจะสัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่ใช้และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน กิจกรรมซักรีดประเภทใดมีปริมาณผ้าในการซักจำนวนมาก ปริมาณน้ำที่ใช้และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นย่อมมีปริมาณที่สูงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ประเภทและขนาดของเครื่องซักผ้า รวมไปถึงตัวผู้ประกอบการเองก็มีผลต่อปริมาณน้ำใช้และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันเช่นกัน กล่าวคือ เครื่องซักผ้าแบบเปิดด้านหน้าใช้น้ำในการซักล้างน้อยกว่าเครื่องซักแบบเปิดด้านบน รวมทั้งยังประหยัดผงซักฟอกได้มากกว่า (รวี โกสลาภิรมณ์, 2536) การใช้เครื่องซักผ้าไม่เหมาะสมกับงานของผู้ประกอบการ เช่น การซักผ้าจำนวนน้อยกับเครื่องซักผ้าขนาดใหญ่ เป็นต้น

1.2 ลักษณะทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดประเภทต่างๆ

จากผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดทุกประเภท พบว่า คุณภาพน้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีดแต่ละประเภทจะมีคุณภาพน้ำใกล้เคียงกัน (ดังแสดงในตาราง 6 ของบทที่ 3) และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำทิ้งในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการซัก พบว่า ตัวแปรคุณภาพน้ำจะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการซัก โดยคุณภาพ

น้ำทิ้งในขั้นตอนของการซักผ้าจะมีค่าตัวแปรคุณภาพน้ำมากที่สุด เนื่องจากในน้ำซักผ้าจะมีความเข้มข้นของสิ่งเจือปนต่างๆ สูง โดยมีค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 210-260 NTU ของแข็งแขวนลอย 100-227 มก./ล. ซีโอดี 376-993 มก./ล. บีโอดี 184-492 มก./ล. ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด 14.17-19.70 มก./ล. และพีเอช 8.76-10.25 รองลงมา ได้แก่ น้ำรวม (ระหว่างน้ำซักผ้าและน้ำล้างผ้า) มีค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 52-210 NTU ของแข็งแขวนลอย 47-115 มก./ล. ซีโอดี 197-615 มก./ล. บีโอดี 116-346 มก./ล. ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด 9.01-16.67 มก./ล. และพีเอช 7.3-8.4 ส่วนน้ำล้างผ้าจะมีความเข้มข้นของสิ่งเจือปนน้อยกว่าน้ำเสียในขั้นตอนการซักและน้ำเสียรวม ไม่ว่าจะเป็นความสกปรก สารซักฟอก โดยสังเกตได้จากค่าตัวแปรคุณภาพน้ำซึ่งมีค่าน้อยกว่าน้ำซักและน้ำรวม (ดังแสดงผลในตารางผนวก 22) และเมื่อนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Eckenfelder & Barnhart (1960) ซึ่งทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของน้ำทิ้งรวม พบว่า คุณภาพน้ำรวมจะมีค่าตัวแปรคุณภาพน้ำแตกต่างกันบ้าง โดยจากการศึกษาของ Eckenfelder & Barnhart น้ำรวมจะมีค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 208-300 NTU ซีโอดี 344-445 มก./ล. ของแข็งแขวนลอย 140-163 มก./ล. และพีเอช 7.8-8.1 ทั้งนี้ค่าตัวแปรคุณภาพน้ำที่แตกต่างนั้น จะขึ้นอยู่กับความสกปรกของเสื้อผ้าที่เข้าสู่กระบวนการซัก ผงซักฟอก สารเคมีที่ใช้และขั้นตอนของกระบวนการซักของกิจกรรมซักรีดนั้นๆ

นอกจากนี้คุณภาพน้ำทิ้งทั้งน้ำซักผ้าและน้ำรวมจากกิจกรรมซักรีดทุกประเภท เมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำทิ้งชุมชนจากท่อระบายน้ำของเทศบาลนครหาดใหญ่ (ซึ่งเก็บในระหว่างวันที่ 17-18 กุมภาพันธ์ 2539) จากจุดต่างๆ 6 จุด พบว่า น้ำทิ้งชุมชนมีค่าบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำกว่าน้ำซักผ้าและน้ำรวมโดยที่น้ำทิ้งชุมชนจะมีค่าบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ในช่วง 79-306, 29-96 และ 2.2-9.8 มก./ล. ตามลำดับ (เทศบาลนครหาดใหญ่, 2539 : 62) ทั้งนี้เนื่องด้วยน้ำซักผ้าและน้ำรวมจะมีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการซักผ้าโดยตรง ไม่ว่าจะเป็นสิ่งสกปรกจากเสื้อผ้า ผงซักฟอก ในขณะที่น้ำทิ้งชุมชนจะมีน้ำทิ้งจากหลายแหล่งมารวมกัน เช่น น้ำทิ้งจากบ้านเรือน โรงแรม อาคารชุด วัด เป็นต้น ทำให้เกิดการเจือจางของน้ำเสีย ค่าตัวแปรคุณภาพน้ำบางตัวจึงมีค่าต่ำกว่า ส่วนค่าไนโตรเจนในรูปของ TKN ของน้ำทิ้งชุมชนจะมีค่าอยู่ในช่วง 15.7-51.0 มก./ล. (เทศบาลนครหาดใหญ่, 2539) ซึ่งมีค่าสูงกว่าของน้ำซักผ้าและน้ำรวม โดยน้ำซักผ้าและน้ำรวมมีค่าไนโตรเจนในรูปของ TKN อยู่ในช่วง 5.5-8.90 และ 3.36-7.11 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งเมื่อมีการปล่อยน้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีดลงสู่แหล่งน้ำก็อาจส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำที่รองรับได้ เช่น ส่งเสริมให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิ-

เคชั่นในแหล่งน้ำ โดยมีผลมาจากแหล่งน้ำได้รับสารอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกฟอสฟอรัสและไนโตรเจนมากเกินไป ซึ่งจะไปกระตุ้นให้สาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (Sawyer, 1966) โดยที่ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของกิจกรรมซักรีดทุกประเภทในน้ำซักผ้าอยู่ในช่วง 14.17-19.70 มก./ล. และในน้ำรวมอยู่ในช่วง 9.01-16.67 มก./ล. ซึ่งสารประกอบฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากกว่า 0.015 มก./ล. จะมีผลกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ (Metcalf and Eddy, 1991) และจากการศึกษาลักษณะโดยรวมของกิจกรรมซักรีดทุกประเภท พบว่า กิจกรรมซักรีดทุกประเภทไม่มีการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่คูระบายน้ำหรือแหล่งน้ำสาธารณะ (ยกเว้นโรงงานทักษิณซักรีดซึ่งมีระบบบำบัดน้ำเสียแบบจานหมุนชีวภาพ) น้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดจึงส่งผลโดยตรงกับแหล่งน้ำที่รองรับ

2. การศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อตะกอนที่เหมาะสมโดยวิธีจาร์เทสต์

2.1 การศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อตะกอนที่เหมาะสมเพียงชนิดเดียว

จากการศึกษาชนิดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม พบว่า สารส้มจะมีประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำได้ดีกว่าสารโพลิเมอร์ประจุบวกและสารโพลิเมอร์ประจุลบทั้งในน้ำซักผ้าและน้ำรวม โดยการทดลองในน้ำซักผ้า ใช้ปริมาณสารส้มในช่วง 625-4,000 มก./ล. มีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 2,000 มก./ล. สามารถลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีและสารลดแรงตึงผิวได้ร้อยละ 97.14, 98.00, 77.68 และ 9.49 ตามลำดับ ส่วนการทดลองโดยใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นสารก่อตะกอน ใช้ปริมาณสารโพลิเมอร์ประจุบวกในช่วง 20-100 มก./ล. มีปริมาณสารโพลิเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมเท่ากับ 20 มก./ล. สามารถลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีและสารลดแรงตึงผิวได้ร้อยละ 16.00, 53.01, 18.46 และ 6.76 ตามลำดับ ส่วนการทดลองในน้ำเสียรวมใช้ปริมาณสารส้มในช่วง 250-2,500 มก./ล. จะมีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 1,375 มก./ล. สามารถลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีและสารลดแรงตึงผิวได้ร้อยละ 98.11, 99.40, 78.91 และ 31.54 ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารโพลิเมอร์ประจุบวกที่เหมาะสมเท่ากับ 20 มก./ล. เช่นกัน โดยสามารถลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีและสารลดแรงตึงผิวได้ร้อยละ 22.22, 44.64, 21.22 และ 10.07 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าและน้ำรวม จะเห็นได้ว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าจะมีปริมาณสารส้มมากกว่าการทดลองโดยใช้น้ำรวม ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำซักผ้าจะมีความเข้มข้นของสิ่งเจือปนต่างๆ ที่มีผลต่อการรวมตะกอน เช่น สารลดแรงตึง

ผิว คราบไคล มากกว่าในน้ำรวม จึงต้องใช้สารส้มในปริมาณที่สูงกว่าในการก่อตะกอน

และจากผลการทดลองทั้งในน้ำซักผ้าและในน้ำเสียรวม จะสังเกตได้ว่า แม้จะใช้สารโพลิ-เมอร์ประจุบวกในปริมาณที่สูงแล้วก็ตาม แต่ค่าความขุ่นของน้ำเสียยังคงมีค่าสูงอยู่ ซึ่งอาจเป็นเพราะประจุบวกของสารโพลิเมอร์ทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ได้ไม่ดี จึงทำให้การเกาะติดผิวระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กับโมเลกุลของโพลิเมอร์เป็นไปได้ไม่ดีด้วย และการที่ใช้สารโพลิเมอร์ในปริมาณสูงก็จะทำให้อนุภาคคอลลอยด์กลับมาเสถียรใหม่ได้ เพราะโพลิเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์ จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาค สำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระที่อยู่บนอนุภาคอื่นๆ ตะกอนที่เกิดขึ้นจึงเป็นตะกอนของโพลิเมอร์เองมากกว่าจะเป็นการรวมตัวของสารแขวนลอยและคอลลอยด์ในน้ำเสีย ลักษณะของตะกอนที่เกิดจากสารโพลิเมอร์ประจุบวกจะเป็นเส้นใยรวมกันเป็นก้อนใหญ่ เมื่อใช้มือสัมผัสดูจะมีลักษณะเหนียวแน่นแตกตัวได้ยาก

ในกรณีของสารส้ม การใส่สารส้มซึ่งมี Al^{+3} ลงไปในปริมาณมาก จะทำให้พีเอชของน้ำดิบลดลงจนมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4-5 ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มที่มีระดับพีเอช 4-6 จะอยู่ในรูป $Al(OH)^{+2}$ และ $Al(OH)_2^+$ ประจุบวกเหล่านี้จะมีประโยชน์ในการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์แบบดูดติดผิวและทำลายประจุในขั้นต้น และ Al^{+3} เองจะช่วยลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) มีผลทำให้ศักย์ทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ลดลง จึงทำให้แรงผลักระหว่างอนุภาคลดลงด้วย อนุภาคจึงเข้าใกล้กันมากขึ้น เกิดแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคเรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ ทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอน และเมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอก เช่น การกวนช้า ก็ช่วยให้อนุภาคเข้าใกล้กันและรวมตัวก่อเป็นตะกอนดียิ่งขึ้น อีกส่วนหนึ่งเกิดจากกลไกแบบ Sweep Coagulation หรือห่อหุ้มคอลลอยด์ ซึ่งจะเกิดขึ้นจากปริมาณสารส้มในปริมาณสูงก่อให้เกิดผลึกของ $Al(OH)_3$ เมื่ออนุภาคคอลลอยด์มาสัมผัส ก็จะเกาะจับตัวอยู่บนผลึกนั้น เมื่อเกิดขึ้นมากๆ จะได้ฟลอคขนาดใหญ่ที่ตกตะกอนได้ง่าย แต่ถึงแม้การใช้สารส้มในปริมาณสูงจะให้ผลดีในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ แต่ก็จะทำให้น้ำทิ้งที่ได้มีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งจะมีผลในการกัดกร่อน เพราะฉะนั้นต้องระวังในเรื่องของวัสดุที่ใช้ในการทำระบบบำบัดน้ำเสียด้วย

ส่วนสารโพลิเมอร์ประจุลบนั้นจะไม่มีผลในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ เนื่องจากน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดจะมีพีเอชสูง น้ำที่มีพีเอชสูงมักให้ประจุที่เป็นลบ(มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538 : 163) รวมทั้งส่วนผสมของสารซักฟอกที่มีสารลดแรงตึงผิวชนิด LAS (หรือ ABS ซึ่งปัจจุบันจะไม่นิยมใช้ เนื่องจากย่อยสลายยาก) ซึ่งเป็นกลุ่มของสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Anionic

Surfactant) ปกติโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะประกอบ 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนที่เป็น Hydrophilic (ส่วนที่เป็นหมู่ฟังก์ชั่นมีขั้วและชอบน้ำ) จะมีประจุบวก เมื่ออยู่ในน้ำจะมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่และส่วนที่เป็น Hydrophobic (ส่วนที่เป็นหมู่ฟังก์ชั่นไม่มีขั้วและไม่ชอบน้ำ) มีประจุลบ เมื่อส่วนที่เป็น Hydrophilic ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำ มีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ จึงเหลือส่วนที่เป็น Hydrophobic อยู่บริเวณโดยรอบ อนุภาคคอลลอยด์จึงแสดงประจุเป็นลบ อนุภาคคอลลอยด์อื่นๆ ซึ่งได้แก่ สิ่งสกปรกต่างๆ เช่น เศษดิน ฝุ่นละออง ก็มีประจุลบเช่นกัน จึงทำให้เกิดแรงผลักระหว่างประจุของสารเคมีและประจุของน้ำเสีย จึงไม่สามารถเกิดการรวมตัวของคอลลอยด์ก่อเป็นตะกอนในน้ำเสียได้

2.2 การศึกษาชนิดและปริมาณสารก่อตะกอนที่เหมาะสมร่วมกับสารช่วยในการก่อตะกอน

จากผลการศึกษาสารก่อตะกอนที่เหมาะสมร่วมกับสารช่วยในการก่อตะกอนในน้ำเสียโดยวิธีจาร์เทสต์ ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 พบว่า สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารก่อตะกอนและเป็นสารช่วยก่อตะกอนที่เหมาะสมที่สุดทั้งในน้ำซักผ้าและน้ำรวม การทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าและน้ำรวม จะใช้ปริมาณสารส้มในช่วง 250-2,500 มก./ล. ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. การทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าจะมีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 1,375 มก./ล สามารถลดค่าความขุ่น สารแขวนลอย ซีโอดีและสารลดแรงตึงผิวในน้ำซักผ้าได้ร้อยละ 96.72, 94.66, 76.38, 35.19 ตามลำดับ และการทดลองโดยใช้น้ำรวมมีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 750 มก./ล. สามารถลดค่าความขุ่น สารแขวนลอย ซีโอดีและสารลดแรงตึงผิวได้ร้อยละ 91.76, 93.75,75.57 และ 8.70 ตามลำดับ และจะสังเกตได้ว่า เมื่อใช้สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบจะใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมน้อยกว่าการใช้สารส้มเพียงสารเดียวและสารส้มร่วมกับเกาลินเป็นสารก่อตะกอน เนื่องมาจากสารโพลิเมอร์ประจุลบซึ่งจะเป็นตัวช่วยในการเกิดฟลอคคูเลชั่นหรือรวมตะกอนนั้นเป็นประเภทที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีโครงสร้างของโมเลกุลเป็นเส้นใยลักษณะคล้ายลูกโซ่ยาวคล้ายเป็นสะพานเชื่อมไปจับยึดระหว่างฟลอคของสารส้มที่มีประจุบวก ซึ่งห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์อยู่หรือระหว่างฟลอคของสารส้มกับคอลลอยด์ในน้ำเสียโดยตรง ทำให้ฟลอครวมตัวกันได้ดีขึ้น มีขนาดโตขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะการกวน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ray and Hogg (1987 : 256-268) ที่พบว่า การเกิดฟลอคโดยการใส่สารโพลิเมอร์นั้นจะทำให้ได้ฟลอคที่โตขึ้นอย่างรวดเร็วในการกวนและกลุ่มของฟลอคค่อนข้างแข็งแรง สามารถต้านทานแรงผลักของอนุภาคและความปั่นป่วนที่เกิดจากการกวนน้ำได้ นอกจากนี้น้ำหนักโมเลกุลของสารโพลิเมอร์ประจุลบจะมีน้ำหนักสูง จึงทำให้ฟลอคมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ตกตะกอนได้รวดเร็ว เมื่อใช้มือสัมผัสดูจะมี

ลักษณะเหนียวอัดตัวแน่นกว่าตะกอนของสารส้มเพียงตัวเดียวและตะกอนที่ได้จะมีปริมาณน้อยกว่าตะกอนของสารส้มเพียงสารเดียวและตะกอนของสารส้มร่วมกับเกาลินที่ปริมาณเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของเจริญ อ่อนจับ (2536) ที่ศึกษาพบว่า ร้อยละของปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อใช้สารโพลิเมอร์ประจุบวกหรือประจุลบเป็นสารช่วยตกตะกอนร่วมกับสารส้ม ตะกอนจะจับตัวกันแน่นขึ้น สามารถลดตะกอนลงได้ประมาณ 45-78 % ซึ่งทำให้ประหยัดพื้นที่สำหรับเก็บกักตะกอนที่เกิดขึ้น ส่วนสารส้มร่วมกับเกาลินนั้น จะมีประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำและก่อตะกอนได้ดีกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว เพราะเกาลินจะช่วยเพิ่มเป้าสัมผัสในการก่อตะกอน ทำให้ตะกอนมีน้ำหนักและขนาดใหญ่ขึ้น ตกตะกอนได้ง่าย อัดตัวกันได้ดี (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538 : 181) ลักษณะตะกอนที่ได้จากการใช้สารส้มร่วมกับเกาลินก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกันดังกล่าว แต่เกาลินจะเหมาะสมสำหรับน้ำเสียที่มีความขุ่นน้อยมากกว่าน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดซึ่งมีความขุ่นสูง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารส้มที่ต้องใช้ โดยมีสารช่วยก่อตะกอนเป็นเกาลินหรือสารโพลิเมอร์ประจุลบ พบว่า ปริมาณสารส้มที่มีสารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารช่วยก่อตะกอน จะใช้ปริมาณสารส้มน้อยกว่าปริมาณสารส้มที่มีเกาลินเป็นสารช่วยก่อตะกอน เนื่องจากเกาลินเป็นตัวเพิ่มปริมาณสารแขวนลอยและยังมีประจุลบเช่นเดียวกับอนุภาคคอลลอยด์ จึงต้องใช้ปริมาณของสารส้มในการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์เพิ่มขึ้น

และจากการศึกษายังสังเกตได้ว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการก่อตะกอนจะใช้ในปริมาณสูงทั้งการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าและน้ำรวม ทั้งในการทดลองที่ใช้สารส้มเพียงสารเดียวหรือร่วมกับสารช่วยก่อตะกอน เนื่องจากคอลลอยด์ในน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดจะมีอนุภาคคอลลอยด์เป็นหมู่ฟังก์ชั่นที่มีขั้วและชอบน้ำ ดังกล่าวข้างต้นนั้น จะมีโมเลกุลของน้ำและสารลดแรงตึงผิวห่อหุ้มอยู่โดยรอบเป็นเสมือนสิ่งที่กีดขวางป้องกันมิให้อนุภาคต่างๆเข้าใกล้และจับตัวกัน จึงต้องใช้ปริมาณสารก่อตะกอนในปริมาณสูงในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ และการเกิดกลไกโคแอกกูเลชั่นแบบดูดติดผิว เพื่อให้การก่อตัวของตะกอนเกิดขึ้นได้ดี นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าปริมาณสารส้มที่ใช้ในการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าจะมีปริมาณสูงกว่าการทดลองโดยใช้น้ำรวม เนื่องจากความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำเสีย ฉะนั้นในการทดลองที่มีน้ำเสียจากขั้นตอนต่างๆผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย จึงจำเป็นต้องมีการปรับปริมาณของสารส้มให้เหมาะสมกับการก่อตะกอนของน้ำเสียชนิดนั้นๆ ด้วย

2.3 การศึกษาค่าพีเอชที่มีอิทธิพลต่อการก่อตะกอนของสารส้ม

จากการศึกษาค่าพีเอชที่มีอิทธิพลต่อการก่อตะกอนของสารส้ม (ดังกล่าวมาแล้วในบทที่ 3) พบว่า การปรับพีเอชของน้ำเสียจะช่วยให้สารส้มมีประสิทธิภาพในการการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในน้ำเสียได้ดีกว่าการทดลองที่ไม่มีการปรับพีเอชของน้ำเสีย ทั้งในน้ำซักผ้าและในน้ำรวม แต่ทั้งนี้จะมีปัจจัยของปริมาณสารส้มเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย โดยถ้าใส่สารส้มในปริมาณที่ต่ำจนไม่เหมาะสมต่อการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ การก่อตะกอนก็จะเกิดขึ้นได้ไม่ดี ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำไม่ดีเช่นกัน ทั้งนี้เพราะการก่อตะกอนในน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีด จำเป็นต้องใช้สารส้มในปริมาณสูงในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์และก่อตะกอน ดังกล่าวข้างต้นในหัวข้อ 2.1

และจากการทดลองโดยเพิ่มปริมาณสารส้มลงไปในน้ำรวมและน้ำซักผ้า โดยไม่มีการปรับพีเอชของน้ำเสียดิบเป็น 500 มก./ล. และ 1,000 มก./ล. ตามลำดับนั้น พบว่า จะทำให้ประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำเพิ่มขึ้น แต่การใช้สารส้มในปริมาณสูงจะทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียลดลง โดยค่าพีเอชของน้ำเสียจะลดลงเหลือ 4.43 และ 4.5 ตามลำดับ ซึ่งค่าพีเอชในช่วง 4-6 นี้ สารส้มจะอยู่ในลักษณะของสารประกอบเชิงซ้อนประจุบวกของ $Al(OH)^{+2}$ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบดูดติดผิวและทำลายประจุ และเมื่อเปรียบเทียบร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ พบว่า การใช้สารส้มในปริมาณสูงโดยไม่มีการปรับพีเอชของน้ำเสียจะมีประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีกว่าการปรับพีเอชของน้ำเสียแต่ใช้ปริมาณสารส้มน้อยกว่า (ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ข้างต้น) ดังนั้นจึงเป็นการยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าสู่กระบวนการโคแอกกูเลชั่น

3. ผลการทดลองของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ

จากผลการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีสารส้มเป็นสารก่อตะกอนร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารช่วยก่อตะกอน ในกระบวนการโคแอกกูเลชั่นและการตกตะกอน พบว่า สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบมีประสิทธิภาพในการก่อตะกอนและลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำได้ดีทั้งในน้ำซักผ้าและน้ำรวม (ดังกล่าวมาแล้วในบทที่ 3) การทดลองโดยมีน้ำซักผ้าและน้ำรวมผ่านเข้าสู่ระบบจะใช้ปริมาณสารส้มในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าจะใช้ปริมาณสารส้มสูงกว่าการทดลองโดยใช้น้ำรวม โดยการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าใช้ปริมาณสารส้มเท่ากับ 1,625 มก./ล. ในขณะที่น้ำรวมใช้ปริมาณสารส้มเท่ากับ 450 มก./ล. เนื่องจากคุณภาพน้ำ

ของน้ำซักผ้ามีความเข้มข้นของสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น สารแขวนลอย สารลดแรงตึงผิวมากกว่าในน้ำรวม จึงต้องใช้สารส้มในปริมาณสูงในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ อนุภาคคอลลอยด์เมื่อถูกทำลายเสถียรภาพแล้วก็จะรวมตัวกันเป็นฟลอคในถังกวนช้า แล้วผ่านไปตกตะกอนในถังตกตะกอน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในถังตกตะกอน พบว่า ปริมาณตะกอนที่ผ่านน้ำซักผ้าเข้าสู่ระบบจะมีปริมาณตะกอนมากกว่าการทดลองที่ผ่านน้ำรวมเข้าสู่ระบบ (ดังแสดงในตารางผนวก 20-21) อันเป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสิ่งเจือปนและปริมาณสารส้มที่ใช้ในการทดลองนั่นเอง คุณภาพน้ำทิ้งที่ออกจากถังตกตะกอนยังคงมีตะกอนแขวนลอยบางส่วนปนออกมากับน้ำทิ้ง โดยอาจเกิดจากปฏิกริยาการเกิดฟลอคดูเลชั่นที่ไม่สมบูรณ์ อนุภาคคอลลอยด์บางส่วนจึงรวมตัวกันได้ไม่ดี รวมทั้งบัฟเฟอร์ของถังตกตะกอนที่ใช้ในการทดลองมีบทบาทไม่สมบูรณ์โดยช่วยชะลอความเร็วของอัตราการไหลของน้ำได้ไม่ดีนัก ซึ่งอาจจะเกิดจากจำนวนแผ่นบัฟเฟอร์มีน้อยเกินไป การไหลของน้ำจึงยังแรงพอที่จะทำให้ตะกอนบางส่วนฟุ้งกระจายขึ้นมาได้ น้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชั่นและการตกตะกอนแล้วจะเข้าสู่การกรองต่อไป

ในส่วนของกระบวนการกรองนั้น พบว่า การกรองแบบ 2 ชั้นกรอง โดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง จะมีประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีที่สุด ทั้งนี้เพราะเมื่อน้ำเสียผ่านการกรองโดยมีถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรองในชั้นแรกไปแล้ว จะมีอนุภาคเล็กๆ ที่เป็นความขุ่น สามารถผ่านผิวบนของถ่านแอนทราไซท์ไปได้ ก็จะไปติดค้างบนชั้นกรองที่ 2 คือ ทราย ซึ่งการกรองแบบ 2 ชั้นนี้ เป็นแบบหยาบไปละเอียด จะเหมาะสมสำหรับน้ำที่มีการเติมสารก่อตะกอนเพราะจะมีช่องว่างสำหรับเก็บกักตะกอนที่ถูกกรองไว้ได้มากกว่า (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538 : 18) คุณภาพน้ำที่ผ่านการกรองดังกล่าวจึงมีคุณภาพดีกว่าสารกรองตัวอื่น ส่วนสารกรองในการทดลองที่มีประสิทธิภาพรองลงมา ได้แก่ สารกรองทราย และถ่านแอนทราไซท์ ตามลำดับ เนื่องจากขนาดของทรายเล็กกว่าถ่านแอนทราไซท์จึงสามารถกรองตะกอนแขวนลอยได้ดีกว่าถ่าน-แอนทราไซท์ โดยทรายที่ใช้ในการทดลองมีขนาดสัมฤทธิ์เท่ากับ 0.5 มม. ในขณะที่ถ่านแอนทรา-ไซท์มีขนาดสัมฤทธิ์เท่ากับ 1 มม.

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการกรองทั้ง 3 อัตราการกรองข้างต้น คือ 122, 81 และ 41 ล./ม.^{2}-นาที พบว่า ที่อัตราการกรองที่ 41 ล./ม.^{2}-นาที จะเป็นอัตราการกรองที่ทำให้ประสิทธิภาพของสารกรองมีประสิทธิภาพในการกรองน้ำดีที่สุด รองลงมา ได้แก่ 81 และ 122 ล./ม.^{2}-นาที ตามลำดับ ซึ่งเปรียบเทียบได้จากร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำของสารกรองแต่ละ

ชนิด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อัตราการกรองน้ำก็มีอิทธิพลต่อการทำงานของถังกรอง เช่นกัน แต่ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการกรองน้ำของสารกรองที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที จะมีประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำดีที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำในแต่ละอัตราการกรอง พบว่า จะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของนักวิจัยที่พบว่า การกรองน้ำในอัตรา 81-244 ล./ม.^{2}-นาที (5-15 ม./ชม.) ให้กับน้ำที่มีการเตรียมไว้ก่อนจะให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538 : 26)

ในการศึกษาการสูญเสียความดันซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงอายุการใช้งานของถังกรอง พบว่า สารกรองทรายมีการสูญเสียความดันเร็วที่สุด รองลงมาได้แก่ ถ่านแอนทราไซท์ และทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์ ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะทรายมีขนาดเล็ก ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพในการกรองสูง แต่ขนาดที่เล็กก็จะทำให้เกิดการอุดตันได้เร็วกว่าสารกรองที่มีขนาดใหญ่กว่า

นอกจากนี้ยังพบว่าอายุการใช้งานของสารกรองแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับอัตราการกรองและเวลาที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยอัตราการกรองต่ำจะช่วยให้สารกรองมีอายุการใช้งานนานกว่าอัตราการกรองสูง คือ ช่วยให้เกิดการสูญเสียความดันช้ากว่านั่นเอง ซึ่งจากการศึกษา พบว่า ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที สารกรองทรายและถ่านแอนทราไซท์ จะมีอายุการใช้งานใกล้เคียงกัน โดยมีอายุการใช้งานในระยะเวลาของการทดลอง คือ ประมาณ 4 ชั่วโมง ส่วนอายุการใช้งานของสารกรองทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์จะมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าสารกรองทรายและถ่านแอนทราไซท์ โดยมีอายุการใช้งานนานกว่าระยะเวลาในการทดลอง ส่วนอัตราการกรองที่ 41 ล./ม.^{2}-นาที อายุการใช้งานของสารกรองทุกชนิด จะมีอายุการใช้งานนานกว่าระยะเวลาในการทดลองทั้งสิ้น (เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองเดินระบบภายใน 4 ชั่วโมง จึงไม่สามารถระบุเวลาที่แน่นอนได้) ซึ่งการสังเกตการสูญเสียความดันหรืออายุการใช้งานของสารกรองนั้น จะสังเกตได้จาก ระดับน้ำในสายยางที่ใช้วัดความดันจากถังกรองมีระดับสูงขึ้น อัตราการไหลออกของน้ำทิ้งช้าลง และค่าความขุ่นที่เพิ่มขึ้นของน้ำทิ้ง (ดังกล่าวมาแล้วในบทที่ 3) และเมื่อเวลาผ่านไปชั้นของสารกรองจะมีการสูญเสียความดันเพิ่มขึ้น คุณภาพน้ำทิ้งจะมีคุณภาพน้ำต่ำลง ซึ่งจะเกิดขึ้นจาก 2 กรณี คือ เมื่อชั้นสารกรองกรองน้ำไปนานๆ สารแขวนลอยจะสะสมอยู่บนชั้นสารกรองตลอดเวลา ทำให้ช่องว่างระหว่างสารกรองน้อยลง สารกรองจึงมีความฝืดเพิ่มขึ้นหรืออุดตันมากขึ้น แรงที่เกิดจากการไหลของน้ำจะมีค่าสูงตามไปด้วย จนทำให้ตะกอนบางส่วนที่เกาะกันอย่างหลวมๆ บนสารกรองหลุดออกจากชั้นกรองไปกับน้ำทิ้งได้ อีกกรณี คือ เมื่อพื้นที่ของชั้นกรองถูกใช้ไปจนเกือบหมดทำให้สารแขวนลอยมีโอกาสเกาะติดผิวชั้นกรองได้น้อย การรั่วของสารแขวนลอยออกจากสารกรองมากับน้ำ

ทิ้งจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อสังเกตพบระดับน้ำในถังกรองหรือสายยางวัดระดับน้ำถึงระดับสูงสุดและน้ำที่กรองได้ขุ่น แสดงว่า ชั้นกรองมีการสูญเสียค่าความดันสูงสุดหรือหมดอายุการใช้งานของชั้นกรอง จำเป็นต้องมีการล้างย้อนถังกรองเพื่อให้ถังกรองกลับมีประสิทธิภาพที่ดีในการกรองน้ำต่อไป

4. การประเมินศักยภาพการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำไปใช้งาน

4.1 ค่าสารเคมีและค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่สามารถประเมินได้

4.1.1 สารส้ม ราคาในท้องตลาดกิโลกรัมละ 7 บาท จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการก่อตะกอน ทั้งในน้ำซักผ้าและน้ำรวม จะอยู่ในช่วง 450-1,800 มก./ล. ดังนั้นจะต้องจ่ายค่าสารส้มในช่วง 3.15-13.50 บาทต่อน้ำเสีย 1 ม.^{3} ในส่วนของการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยใช้น้ำซักผ้าผ่านเข้าสู่ระบบใช้ปริมาณสารส้ม 1,625 มก./ล. หรือประมาณ 1.625 กก./ ม.^{3} ดังนั้นจะต้องจ่ายค่าสารส้ม 11.36 บาท ต่อน้ำเสีย 1 ม.^{3} สำหรับบำบัดน้ำเสียจากน้ำซักผ้า ผลการทดลองโดยใช้น้ำรวม ใช้ปริมาณสารส้ม 450 มก./ล. หรือประมาณ 0.45 กก./ม.^{3} ดังนั้นจะต้องจ่ายค่าสารส้ม 3.15 บาทต่อน้ำเสีย 1 ม.^{3} สำหรับบำบัดน้ำเสียจากน้ำรวม

4.1.2 สารโพลิเมอร์ประจุลบ (Best Floc KS 320A lot. 603151) ราคากิโลกรัมละ 300 บาท ผลการทดลองในน้ำซักผ้าและน้ำรวมใช้สารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. หรือประมาณ 0.005 กก./ม.^{3} ดังนั้นจะต้องจ่ายค่าสารโพลิเมอร์ประจุลบ 1.50 บาทต่อน้ำเสีย 1 ม.^{3}

4.1.3 ทรายและถ่านแอนทราไซท์ จากผลการทดลองทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์มีประสิทธิภาพในการกรองดีที่สุด ทรายกรองคัดขนาด ขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มม. กระสอบละ 60 ลิตร ขายในราคากระสอบละ 80 บาท ถ่านแอนทราไซท์คัดขนาด ขนาดสัมฤทธิ์ 1 มม. ลิตรละ 40 บาท ทรายและถ่านแอนทราไซท์หลังจากทำหน้าที่กรองสารแขวนลอย จนหมดอายุการใช้งานแล้ว สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ โดยทำการล้างย้อน (Backwash) หรือทำความสะอาดเอาตะกอนแขวนลอยออกแล้ว ขนาดของทรายกรองและถ่านแอนทราไซท์ จะผ่านการคัดขนาดมาแล้ว โดยจะมีสัมประสิทธิของความไม่สม่ำเสมอ (Non Uniformity Coefficient or U.C.) สำหรับทรายกรองประมาณ 1.5 และถ่านแอนทราไซท์ประมาณ 1.5-2 ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้เลย แต่ถ้าต้องการให้ U.C. มีค่าน้อยกว่านี้ต้องนำสารกรองไปร่อนผ่านตะแกรง 2 เบอร์ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ซึ่งปกติสารกรองไม่ควรมี U.C. น้อยกว่า 1.3 เพราะจะทำให้สิ้นเปลืองมากเกินไป ปริมาณของสารกรองที่ใช้จะขึ้นอยู่กับปริมาตรของถังกรองที่ออกแบบ สำหรับในการทดลองของการวิจัยใช้ทรายประมาณ 1.14 ลิตร คิดเป็นเงิน 1.5 บาท และถ่านแอนทราไซท์ 2.27 ลิตร เป็นเงิน 92.3 บาท

จากผลการประเมินค่าใช้จ่ายในเรื่องของสารเคมีและวัสดุที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียของกิจกรรมซักรีด จะเห็นได้ว่า ถ้าไม่มีในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและที่ดินเข้ามาเกี่ยวข้อง การบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดีขึ้น ก็ถือว่าน่าจะมีความเป็นไปได้สูงในการนำไปดำเนินงาน แต่ถ้ามีเรื่องของค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและที่ดินเข้ามาเกี่ยวข้อง ก็จะต้องพิจารณาในเรื่องของความคุ้มทุนสำหรับการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับกิจกรรมซักรีดขนาดเล็ก เช่น ร้านซักรีดทั่วไปด้วย แต่ในอุตสาหกรรมซักรีดขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ที่ยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียอาจจะคุ้มทุน เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียให้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพค่อนข้างดีโดยสามารถลดค่าความขุ่น สารแขวนลอย ซีโอดี บีโอดี สารลดแรงตึงผิว ฟอสฟอรัสทั้งหมด โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ในน้ำซักผ้า ทั้งในกระบวนการโคแอกกูเลชั่น กระบวนการตกตะกอนและการกรอง รวมทั้งระบบมากกว่าร้อยละ 99, 99, 70, 70, 40, 35, 99 และ 99 ในน้ำรวมมากกว่าร้อยละ 99, 99, 80, 90, 40, 25, 99 และ 99 (ดังแสดงในตารางผนวก 5-19) น้ำทิ้งจากถังกรองในทุกอัตราการกรองจะมีลักษณะใส มีสารแขวนลอยน้อยมาก ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยอาจนำมาซักผ้าอีกครั้ง ล้างพื้นโรงงาน ล้างย้อนถังกรอง (Backwash) รดน้ำต้นไม้ เป็นต้น

และเมื่อพิจารณาถึงความคุ้มทุนในเรื่องการนำน้ำทิ้งหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่นั้น ก็อาจมีความเป็นไปได้เช่นกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าใช้จ่ายของสารเคมีเปรียบเทียบกับอัตราค่าน้ำประปา พบว่า อัตราค่าน้ำประปาสำหรับธุรกิจขนาดเล็กจะอยู่ในช่วง 9-15 บาทต่อการใช้น้ำ 1 ม.^{3} และสำหรับธุรกิจขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 10-21 บาทต่อการใช้น้ำ 1 ม.^{3} (ข้อมูลจากสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาค จังหวัดสงขลา, 2542) โดยที่อัตราค่าน้ำประปาจะเพิ่มขึ้นตามการใช้น้ำของสถานประกอบการนั้นๆ ส่วนค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีในการบำบัดน้ำเสียจากการทดลองจะอยู่ในช่วง 4-15 บาทต่อน้ำเสีย 1 ม.^{3} ซึ่งจะใกล้เคียงกับค่าน้ำประปา เมื่อนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับค่าน้ำประปาได้พอสมควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมซักรีดที่มีแหล่งน้ำใช้ในกระบวนการอย่างจำกัดหรือตั้งอยู่ในแหล่งท่องเที่ยวที่ขาดแคลนน้ำ ก็จะช่วยลดภาระและค่าใช้จ่ายในการจัดหาน้ำสะอาดมาใช้ได้อีกทางหนึ่ง

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีเคมี-ฟิสิกส์นั้น จะใช้เนื้อที่ในการก่อสร้างระบบน้อยกว่า ทำให้ช่วยประหยัดในเรื่องค่าใช้จ่ายในเรื่องที่ดิน และยังใช้เวลาในการกำจัดสารมลพิษน้อยกว่าอีกด้วย เนื่องจากระยะเวลาในการเดินระบบจะสั้นกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา นอกจากนี้จากการศึกษาของนักวิจัยหลายท่าน พบว่า น้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีดยังส่งผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาอีกด้วย เช่น

ฟองที่เกิดจากสารลดแรงตึงผิวในผงซักฟอก เมื่อลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาจะทำให้ค่า DO ในระบบบำบัดน้ำเสียลดลง (Fuhrman and Rice, 1953 : 277) ทั้งยังสามารถลดอัตราการเติมอากาศในถังเติมอากาศได้ถึง 50 % (Sawyer, 1954 : 1193-1200) ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดต่ำลงเนื่องจากแบคทีเรียในระบบต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย การตกตะกอนในถังตกตะกอนช้าลง อีกทั้งสารลดแรงตึงผิวยังไปมีผลกระทบต่อระบบการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ของแบคทีเรีย ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียลดต่ำลง ทั้งแบคทีเรียยังต้องใช้ระยะเวลาในการปรับตัวเพื่อย่อยสลายสารลดแรงตึงผิวในน้ำเสียนานพอสมควร

4.2 ความเป็นไปได้และความยากง่ายในการนำระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีเคมี-ฟิสิกส์ไปใช้งาน

การติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีเคมี-ฟิสิกส์ ในการติดตั้งระบบครั้งแรกอาจจะยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายในช่วงแรกมาก สิ่งที่ต้องพิจารณาในระบบมีดังนี้ คือ

4.2.1 ถังเก็บกักน้ำเสีย (Equalization Tank) จะทำหน้าที่ช่วยลดความปรวนแปรของสารต่างๆ ในน้ำเสีย ไม่ว่าจะเป็นความขุ่น สารแขวนลอย สารลดแรงตึงผิวที่เข้าสู่ระบบ เพราะน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดจะมีน้ำทิ้งจากหลายขั้นตอนของกระบวนการซัก โดยน้ำเสียในขั้นตอนแรกจากกิจกรรมซักรีดจะมีความขุ่นและสิ่งปนเปื้อนในปริมาณสูงและจะค่อยลดลงเรื่อยๆ ในน้ำเสียขั้นตอนต่อไป ซึ่งถ้าไม่มีถังเก็บกักน้ำเสียจะทำให้น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีความขุ่นและสารแขวนลอยไม่สม่ำเสมอ ส่งผลกระทบต่อกระบวนการโคแอกกูเลชั่นของระบบได้ ซึ่งทำให้ต้องคอยควบคุมปริมาณสารส้มให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับชนิดของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบอยู่เสมอ ทำให้เป็นการยุ่งยากในการดูแลระบบเพิ่มขึ้น และถ้าเป็นไปได้ควรให้มีการกวนช้าในถังเก็บกักน้ำเสียเพื่อให้น้ำมีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันตลอด (Homogeneous) ก่อนเข้าสู่ระบบ จะช่วยให้การก่อตะกอนในระบบดีขึ้น แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในเรื่องของการก่อสร้าง การจัดหาเนื้อที่ในการก่อสร้างเพิ่มขึ้น

4.2.2 ถังกวน จะประกอบด้วยถังกวนเร็วและถังกวนช้า ที่มีการกวนอยู่ตลอดเวลา จึงต้องคอยควบคุมอัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย สารเคมีที่ใช้ในการก่อตะกอนและสารเคมีช่วยในการก่อตะกอนอย่างใกล้ชิด อาจต้องมีระบบควบคุมการใส่สารเคมีตามปริมาณที่เหมาะสมกับน้ำเสียที่จะบำบัด เพื่อให้เกิดการก่อตะกอนและรวมตะกอนที่ดีก่อนจะเข้าสู่ถังตกตะกอนต่อไป อนึ่งในการออกแบบทางเชื่อมระหว่างถังกวนช้ากับถังตกตะกอน ควรระมัดระวังในเรื่องความปั่นป่วนภายในทางเชื่อมต้องไม่น้อยจนมีการตกตะกอนหรือมากเกินไปจนฟลอคแตก

4.2.3 ถังตกตะกอน ทำได้หลายแบบ อาจจะเป็นแบบไหลในแนวนอนเช่นเดียวกับที่ใช้ในการทดลอง โดยมีแผ่นบัฟเฟอร์กั้นขวางทางน้ำเข้าและน้ำออก ทำหน้าที่ช่วยลดความเร็วการไหล

ของน้ำเข้าและน้ำออก ทั้งยังช่วยลดการฟุ้งกระจายของตะกอนอีกด้วย ซึ่งถ้าแผ่นบัฟเฟอร์มีจำนวนมาก ก็จะยิ่งช่วยลดการฟุ้งกระจายของตะกอนได้ดี ระยะเวลาในการเก็บกักควรมีระยะเวลาอย่างน้อยประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้การตกตะกอนเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ก่อนจะเข้าสู่ถังกรอง พื้นของถังตกตะกอนควรมีความลาดเอียงเล็กน้อยหรือมีหลุมเก็บตะกอน (Sludge Hopper) เพื่อรวบรวมตะกอน แล้วใช้ปั๊มดูดตะกอนออกจากถังตกตะกอนนำไปบำบัดและกำจัดต่อไป

4.2.4 ถังกรอง จากการทดลองใช้เครื่องกรองแบบ 2 ชั้นกรอง แบบหยาบไปละเอียด ซึ่งออกแบบให้เป็นการกรองเร็วโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง จะทำให้น้ำที่ผ่านระบบมีคุณภาพน้ำดีขึ้น มีความคงทนต่อการสูญเสียความดันและอายุการใช้งานของชั้นกรองนานขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทรายเป็นสารกรองที่ให้คุณภาพน้ำที่ดีได้ดีเช่นกัน แต่ไม่ควรใช้เครื่องกรองทรายแบบกรองช้าเพราะจะทำให้เกิดการอุดตันอย่างรวดเร็ว เนื่องจากขนาดสัมฤทธิ์ของทรายกรองในการกรองช้าจะมีขนาดเล็กกว่าขนาดทรายในการกรองเร็ว และต้องสังเกตการหมดอายุของชั้นกรองอยู่เสมอ โดยจะสังเกตได้จากระดับน้ำในถังกรองซึ่งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับสูงสุดของทางน้ำออกและน้ำที่ออกจากถังกรองเริ่มมีความใสน้อยลงหรือมีความขุ่นเพิ่มขึ้น เมื่อพบว่า ชั้นสารกรองหมดอายุการใช้งานจนทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพต่ำ ต้องทำการล้างย้อนทันที เพื่อให้การกรองมีประสิทธิภาพที่ดีให้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพดีเสมอ การล้างย้อนที่ดีอาจกระทำได้โดยใช้อัตราการกรองต่ำเป็นเวลา 3-4 นาทีก่อน แล้วจึงใช้อัตราการกรองสูงล้างย้อน เพื่อให้สารกรองมีการลอยตัวอย่างเต็มที่ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538 : 67)

4.2.5 การบำบัดตะกอน ก่อนนำไปกำจัด มีหลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ง่ายๆ และอาศัยธรรมชาติมากที่สุด โดยมีหลักการที่สำคัญ คือ ลดปริมาณน้ำในตะกอนให้ได้มากที่สุดและอาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นหลัก ได้แก่

- การตากแห้งบนลานตากตะกอน (Drying Bed)
- การใช้บ่อตากตะกอน (Lagooning)

ตะกอนที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีลักษณะคงตัว น้ำในตะกอนลดลงมาก ทำให้มีปริมาตรน้อยกว่าตะกอนดิบหลายเท่า จึงง่ายต่อการนำไปกำจัดหรือนำไปใช้ประโยชน์ เช่น นำไปฝังกลบหรือใช้ในการถมที่ การเกลี่ยผสมกับหน้าดิน เป็นต้น

ในส่วนกิจกรรมซักรีดขนาดเล็ก ซึ่งอาจจะไม่คุ้มทุนหรือไม่มีการลงทุนในเรื่องของการกำจัดตะกอน อาจจะนำตะกอนที่ได้ไปฝังกลบ หรือขนไปทิ้งในที่ทิ้งขยะของเทศบาล เป็นต้น

4.2.6 การปรับพีเอชของน้ำก่อนทิ้ง เนื่องจากการก่อตะกอนจำเป็นต้องใช้สารส้มในปริมาณสูง จึงทำให้น้ำทิ้งหลังออกจากระบบจะมีค่าพีเอชเป็นกรด มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนวัตถุโลหะ โดยจากผลการทดลองพีเอชจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.5-5.6 ทั้งการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าและน้ำรวม การปรับพีเอชของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบนั้น อาจจะปรับหรือไม่ปรับก็ได้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่หรือค่าพีเอชของน้ำทิ้งเอง ว่าจะมีค่าเกินมาตราฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชนหรือไม่ ซึ่งค่าพีเอชมาตราฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชนมีค่าอยู่ในช่วง 5-9 โดยถ้าน้ำทิ้งมีพีเอชอยู่ในมาตราฐานที่กำหนด สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ก็ไม่ต้องปรับพีเอชของน้ำทิ้ง เพราะจะช่วยลดต้นทุนและเวลาในการบำบัดน้ำเสีย แต่ถ้าน้ำทิ้งมีพีเอชต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งและมีวัตถุประสงค์ในการนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ ควรจะมีการปรับพีเอชให้อยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งหรือปรับพีเอชให้เป็นกลางเสียก่อน เพื่อลดการกัดกร่อนวัตถุต่างๆ เมื่อน้ำทิ้งกลับไปใช้ใหม่ และถ้ามีการปรับพีเอชของน้ำเสีย ต้องมีการเตรียมถังผสม เพื่อทำหน้าที่ผสมด่างให้กับน้ำทิ้ง ถังพักน้ำทิ้ง เพื่อให้ปฏิกิริยาระหว่างน้ำเสียกับน้ำยาเคมีเกิดขึ้นสมบูรณ์ที่สุด และระบบควบคุมพีเอชแบบอัตโนมัติ (pH Controller) จะควบคุมค่าพีเอชตามต้องการ

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุป

1. ชนิดและปริมาณสารก่อตะกอนที่ช่วยในการก่อตะกอนและตกตะกอนได้ดีที่สุดจากการทดลองจาร์เทสต์

จากผลการศึกษาโดยใช้สารส้มเปรียบเทียบกับสารโพลิเมอร์ประจุบวกและสารโพลิเมอร์ประจุลบ พบว่า สารส้มมีประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำและเป็นสารก่อตะกอนดีที่สุด ทั้งในน้ำซักผ้าและน้ำรวม โดยการทดลองใช้น้ำซักผ้า มีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1,875-2,000 มก./ล. สามารถลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีและสารลดแรงตึงผิวได้ร้อยละ 94.3-97.1, 98.0-98.3, 77.7-79.5 และ 7.7-9.5 ตามลำดับ และการทดลองโดยใช้น้ำรวม มีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1,375-1875 มก./ล. สามารถลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีและสารลดแรงตึงผิวได้ร้อยละ 97.3-98.1, 98.2-99.4, 78.9-79.5 และ 31.5-34.2 ตามลำดับ

2. ปริมาณสารก่อตะกอนและสารช่วยก่อตะกอนที่ทำให้เกิดการก่อตะกอนและตกตะกอนได้ดีที่สุดจากการทดลองจาร์เทสต์

จากผลการศึกษาโดยมีเกาลินเปรียบเทียบกับสารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารช่วยในการก่อตะกอน พบว่า สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำและก่อตะกอนได้ดีกว่าสารส้มร่วมกับเกาลินทั้งการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าและน้ำรวม โดยการทดลองใช้น้ำซักผ้ามีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1,375-1,875 มก./ล.สามารถลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีและสารลดแรงตึงผิวได้ร้อยละ 95.2-96.7, 93.4-94.7, 76.4-80.4 และ 35.2-35.8 ตามลำดับ และการทดลองโดยใช้น้ำรวม มีปริมาณสารส้มที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 750-1,375 มก./ล. สามารถลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีและสารลดแรงตึงผิวได้ร้อยละ 91.8-95.7, 93.8-96.7, 75.6-76.1 และ 8.7-9.6 ตามลำดับ

3. การทดลองระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารกรองแต่ละชนิด ได้แก่ ถ่านแอนทราไซท์ ทราย และทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์ ที่อัตราการกรอง 122 , 81 และ 41 ล./ม.^{2}-นาที พบว่า ทั้งน้ำซักผ้า

และน้ำรวมที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชั่น โดยมีสารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นสารก่อตะกอนและสารช่วยก่อตะกอน แล้วผ่านเข้าสู่กระบวนการกรองโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง (แบบ 2 ชั้นกรอง) ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที สามารถลดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำได้ดีกว่าการใช้สารกรองทรายหรือถ่านแอนทราไซท์ โดยการทดลองใช้น้ำซักผ้าสามารถลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดี บีโอดี สารลดแรงตึงผิว ฟอสฟอรัสทั้งหมด คลอโรฟอร์มแบคทีเรีย และฟีคัลคลอโรฟอร์มแบคทีเรีย ได้ร้อยละ 96.6±0.4, 97.9±0.8, 14.6±1.1, 16.4±2.8, 21.8±3.2, 24.8±0.1, 92.1±1.2 และ 90.6±5.9 ตามลำดับ ส่วนการทดลองโดยใช้น้ำรวมสามารถลดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีโอดี บีโอดี สารลดแรงตึงผิว ฟอสฟอรัสทั้งหมด คลอโรฟอร์มแบคทีเรีย และฟีคัลคลอโรฟอร์มแบคทีเรีย ได้ร้อยละ 98.5±0.4, 98.7±0.4, 29.8±0.3, 34.6±2.1, 32.4±0.9, 28.0±0.9, 94.8±0.6 และ 92.7±2.3 ตามลำดับ นอกจากนี้การกรองโดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ยังมีอายุการใช้งานในการกรองนานที่สุด เกิดการสูญเสียความดันน้อยที่สุด โดยมีอายุการใช้งานนานกว่าระยะเวลาในการทดลอง

และเมื่อสังเกตอัตราการกรองของเครื่องกรองในการทดลอง พบว่า ไม่ว่าจะใช้สารตัวใดเป็นสารกรอง อัตราการกรองที่ต่ำกว่าจะช่วยให้เครื่องกรองมีประสิทธิภาพที่ดีและอายุการใช้งานนานกว่าอัตราการกรองที่สูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการกรองเองก็มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของเครื่องกรองด้วย โดยอัตราการกรองยิ่งต่ำประสิทธิภาพของเครื่องกรองยิ่งสูงและอายุการใช้งานของเครื่องกรองยิ่งนานขึ้น แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการเตรียมน้ำก่อนเข้าสู่การกรองเช่นกัน โดยการเตรียมน้ำที่ดีจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของการกรองดียิ่งขึ้น

การสูญเสียความดันของสารกรอง พบว่า ทรายจะมีการสูญเสียความดันในระยะเวลาเร็วที่สุดทั้งการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าและน้ำรวม เนื่องจากทรายมีขนาดเล็กกว่าสารกรองตัวอื่น จึงสามารถเก็บกักสารแขวนลอยต่างๆ ได้มากกว่าสารกรองที่มีขนาดใหญ่กว่า เช่น ถ่านแอนทราไซท์ ทรายจึงเกิดการอุดตันได้เร็วกว่า นอกจากนี้การทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าซึ่งมีความเข้มข้นของสิ่งเจือปนต่างๆ มากกว่าในน้ำรวมผ่านเข้าสู่ระบบ รวมทั้งการกรองด้วยอัตราการกรองสูงจะส่งผลให้การสูญเสียความดันเกิดขึ้นในระยะเวลาเร็วกว่าการกรองด้วยอัตราการกรองที่ต่ำ เช่นกัน

ในส่วนของปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในถังตกตะกอน พบว่า ปริมาณตะกอนที่ผ่านน้ำซักผ้าเข้าสู่ระบบจะมีปริมาณตะกอนและมีค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดมากกว่าการทดลองที่ผ่านน้ำรวมเข้าสู่ระบบ โดยการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้ามีค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดอยู่ในช่วง 10,560-18,440 , 5,880-10,930 และ 3,300-

7,640 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนการทดลองโดยใช้น้ำรวมมีค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวทั้งหมดอยู่ในช่วง 8,070-10,610 , 4,500-9,840 และ 3,330-4,860 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสิ่งเจือปนในน้ำเสียจากการซักผ้าและน้ำเสียรวม รวมทั้งปริมาณสารส้มที่ใช้ในการทดลอง นั่นเอง

ข้อเสนอแนะ

1. จากการประเมินศักยภาพการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำไปใช้งาน โดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายของสารเคมี พบว่า ค่าใช้จ่ายของสารเคมีในการบำบัดน้ำเสียรวมจะมีราคาถูกกว่าการบำบัดน้ำเสียของน้ำซักผ้า ดังนั้นในระบบบำบัดน้ำเสียควรจะมีถังเก็บกักน้ำเสีย เพื่อรวบรวมน้ำเสียจากขั้นตอนต่างๆ เก็บกักไว้ ซึ่งถังเก็บกักน้ำเสียจะช่วยลดความเข้มข้นและความปรวนแปรของสารต่างๆ ในน้ำเสีย ให้มีสภาพเป็นน้ำเสียรวมได้
2. จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า การรวมตะกอนของน้ำเสียจากกิจกรรมซักรีดจะใช้ปริมาณสารส้มเป็นสารก่อตะกอนในปริมาณสูง โดยการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าจะใช้ปริมาณสูงมากกว่า 1,000 มก./ล. และในการทดลองโดยใช้น้ำรวมจะใช้ปริมาณสารส้ม โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 450-750 มก./ล. การใช้สารส้มในปริมาณสูงนั้นจะทำให้น้ำเสียในระบบบำบัดมีฤทธิ์เป็นกรด มีผลต่อการกัดกร่อนวัสดุโลหะ ดังนั้นวัสดุที่ใช้ในการทำระบบต้องหลีกเหลี่ยงการใช้วัสดุโลหะ และวัสดุที่ใช้ทำระบบบำบัดควรมีความทนทานต่อความเป็นกรดด้วย
3. ค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียจะมีฤทธิ์เป็นกรด โดยอาจมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของชุมชนและอุตสาหกรรมเล็กน้อย ซึ่งมาตรฐานน้ำทิ้งกำหนดให้ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5-9 ดังนั้นควรมีการปรับพีเอชของน้ำทิ้งให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำหรือนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ โดยอาจใช้ปูนขาว ($Ca(OH)_2$) และเครื่องควบคุมพีเอชเข้าช่วย ในการปรับพีเอชให้ได้ตามเกณฑ์มาตราฐาน
4. ตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสีย จะมีปริมาณค่อนข้างสูง ดังนั้น ควรหาวิธีบำบัดและการกำจัดที่เหมาะสมต่อไป

ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม

1. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารก่อตะกอนตัวอื่นๆ เช่น เฟอร์รัสซัลเฟต เฟอร์ริกคลอไรด์ เป็นต้น โดยมีสารช่วยก่อตะกอน เช่น สารโพลิเมอร์ประจุลบ Activated Silica หรือสารช่วยตกตะกอนจากธรรมชาติ เช่น ดินเหนียว เป็นต้น พร้อมกับเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

2. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารกรองอื่นๆ เช่น ผงถ่าน แกลบ เป็นต้น

3. ควรศึกษาวิธีการการกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบ โดยวิธีที่เหมาะสม

4. ควรศึกษาในระดับ Pilot Scale เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเป็น Onsite Treatment ในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

การประปาส่วนภูมิภาค. 2542. "อัตราค่าน้ำประปา". สงขลา (สำเนา)

กรรณิกา สิริสิงห. 2525. เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์. กรุงเทพฯ : บริษัทประยูรวงศ์ จำกัด

กรมควบคุมมลพิษ และสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. ศัพท์บัญญัติและนิยามสิ่งแวดล้อมน้ำ. กรุงเทพฯ : เรือนแก้ว สำนักพิมพ์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

_____. 2536. วิศวกรรมประปา. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

เจริญ อ่อนจับ. 2536. "การใช้สารโพลิเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอน เพื่อลดปริมาตรตะกอนในกระบวนการสร้างตะกอน", วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.

ชาญยุทธ คงภิรมย์ชื่น. 2528. "อิทธิพลของผงซักฟอกที่มีต่อปลานิล", วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เทศบาลนครหาดใหญ่. 2539. "โครงการออกแบบรวมก่อสร้างระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียรวม เทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา". สงขลา : เทศบาลนครหาดใหญ่.

ธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์. 2526. "พิษเฉียบพลันของผงซักฟอกที่มีต่อไรแดง", วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิพนธ์ บุญจรัส. 2519. "พิษเฉียบพลันของผงซักฟอกที่มีต่อไรแดง", รายงานการศึกษาปริญญาตรีมหาวิทยาลัยมหิดล.

ประสิทธิ์ กลิ่นภิรมณ์. 2521. "อิทธิพลของผงซักฟอกบางชนิดต่อตัวอ่อนของหอยขม", วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มณทิพย์ ศรีรัตนา ทาบูกานอน และผกา อุดมนิธิกุล. 2532. "ผงซักฟอก". กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (สำเนา)

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. 2526. วิศวกรรมการประปา. พิมพ์ครั้งที่ 1. เล่ม 1. กรุงเทพฯ : ก. วิวรรธน์.

_____. 2538. วิศวกรรมการประปา. พิมพ์ครั้งที่ 2. เล่ม 1. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

_____. 2538. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มูลนิธิโลกสีเขียวและบริษัทบุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด. ม.ป.ป. น้ำ. กรุงเทพฯ : บริษัทอัมรินทร์พริ้นติ้งกรุ๊ฟ จำกัด.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์. 2524. "พิษของผงซักฟอกที่มีต่อสัตว์น้ำ", ใน รายงานสัมมนาทางวิชาการเรื่องผงซักฟอกกับปัญหาสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.

รวี โกสลาภิรมณ์. 2536. "ตลาดของเคมีภัณฑ์ ซัก อบ รีด ในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่", วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมใจ กาญจนวงศ์. 2532. การจัดการคุณภาพน้ำ. ม.ป.พ.

อุดมผล พืชน์ไพบูลย์. 2535. เทคนิคการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. สงขลา : ฝ่ายวิจัยและบริการทางวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Aksenova, E.I. 1979. "Ecological Modeling of Processing Transpiring in Polluted Marine Water Bodies" Soviet Journal of Ecology. 8 : 255-259.

APHA, AWWA and WEF. 1992. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 18 th ed. New York : American Public Health Association.

AWWA. 1950. Water Quality and Treatment. New York. : The AWWA, Inc.

Bardach, J.E. ; Fujiya, M. and Holl, A. 1965. "Detergent : Effects on The Chemical Senses of The Fish *Ictalurus natalis* (Le Sucur). Science. 148 : 1605-1607.

Buapeth, M. 1982. "Acute Toxicity of Some Detergent on The Fresh Water Fish, *Puntius gonionotus*", Master thesis in Education, Mahidol University Bangkok.

Eckenfelder, W.W. and Barnahrt, E. 1960. "Removal of Synthetic Detergent from Laundry and Laundromat Wastes", New York State Water Pollution Control Board, Research Report no. 5, March 1960.

Fair, G.M. ; Geyer, J.C. and Okum, D.A. 1971. Elements of Water Supply and Water Disposal. New York. : John Wiley and sons , Inc.

Fuhrman, R. ; Peper, J.V. and Ford, W. 1964. "Role of External Variable in Degradation of Straight Chain ABS" Soap and Chemical Spectiaties. 40 : 51-53.

Fuhrman, R. and Rice, J. E. 1953. Operating Experience with Detergentt at Washington D.C. THIS J. 25(3) : 277.

Glassman, H.N. and Molnan, D.M. 1951. " Precipitation and Inhibition of Lysozyme by Surface Active Agent ." Arch. Biochem. Biophys. 22 : 170-180.

Halvorson, H. and Ishaque, D.A. 1969. Microbiology of Domestic Waste III : Metabolism of LAS - Type Detergent by Bacteria from a Sewage Lagoon. Can. J. Microbiol. 15 : 571- 576.

Hamburg, N.Y. 1971. "Physical - Chemical Beats Biological for Weak Sewage". Water and Wastes Engineering. 8(3) : 122-129.

Hotchkies, R.D. 1966. The Distribution of Some Plankton Animals in The English Channel and Approaches, in Smith, J.C. 1970. "Torry Canyon" Pollution and Marine Life. London : Cambridge of The University Press.

John, E. 1964. Fish and River Pollution. London : Publ. Co. Inc.

John, H.R. 1972. Detergent and Pollution : Problem and Tecnology Solution. New Jersey : Noyes Data Corporation.

Kawamura, S. 1976. Consideration on Improving Flocculation. J. Amer. Water Works Assn. 67 : 328-339.

Klein, L. 1966. "Though on River Pollution" River Boards Association Year Book. 5 : 53-58

Klein, S.A. and Mcgauhey. 1966. Degradation of Biologically Soft Detergent by Wastewater. Treatment Process. J. WPCF. 37 : 857 - 865.

Lynch, W.O. and Sawyer, C.N. 1954. " Physical Behavior of Synthetic Detergents. Preliminary Studies on Frothing and Oxygen Transfer". Sewage and Industrial Waste. 26 : 1193 -1200.

Metcalf and Eddy. 1991. Wastewater Engineering : Treatment Disposal and Reuse. 3d ed. New York : Mcgraw - Hill, Inc.

Nemerow, N.L. 1978. Industrial Water Pollution : Organic Characteristic and Treatment. London : Addison - Wesley Publishing Company.

Pavoni, J.L. 1977. Handbook of Water Quality Management. New York : Van Nostrand Reinhold Company.

Ray, D.T. and Hogg, R. 1987. "Agglomerate Breakage in Polymer Flocculated Suspension", J. of Colloid and Interface Science. V. 116. pp 256-268.

Rodolfs, W. 1953. Industrial Wastes. New York : Reinhold Publishing Corp.

Sawyer, C.N. 1966. Basic Concept of Eutrophication. J. WPCF. 38 : 737-744.

Simson, J.R. ; Bagan, R.H. and Sawyer, C.N. 1956. Biochemical of Synthetic Detergents. Ind. Eng. Chem. 48 : 240.

Smith, J.E. 1970. "Torry Canyon" Pollution and Marine Life. London : Cambridge of The University Press.

Swedmarch, D.P. ; Chandler, J.G. and Kidder, G.W. 1971. "The Effect of Nonionic Detergent on The Growth of Marine Animals" Science. 146 (2) : 923-924.

Swisher, R.D. 1961. Surfactant Biodegradation. New York : Marcel Dekker, Inc.

Theodore, E.B. 1968. The Impact of Biodegradable Surfactants on Water Quality. J. AOCS. 41 : 433 - 436.

Wayman, C.M. and Robertson, J.B. 1963. "Biodegradation of Anionic and Nonionic Surfactant under Aerobic and Anaerobic Condition" Biotecno. Bio Eng. 5 : 367-384.

ภาคผนวก

ตารางผนวก 1 ผลการทดลองหาค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวของตะกอนในน้ำซักผ้าจากการทดลองจาร์เทสต์ โดยมีสารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอน

Dose	Parameters				
(mg/l)	pH	Turbidity(NTU)	Total Solids(mg/l)	Volatile Solids(mg/l)	Fixed Solids(mg/l)
0	9.73	347	1,600	1,000	600
1,125	4.93	18.2	11,333	8,333	3,000
1,375	4.52	15.5	14,667	8,667	6,000
1,625	4.40	14.3	14,667	8,000	6,667
1,875	4.32	12.5	18,000	9,333	8,667
2,000	4.25	15.2	18,000	9,333	8,667
4,000	4.11	17	28,667	18,000	10,667

ตารางผนวก 2 ผลการทดลองหาค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวของตะกอนในน้ำซักผ้าจากการทดลองจาร์เทสต์ โดยมีสารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอน

Dose	Parameters				
(mg/l)	pH	Turbidity(NTU)	Total Solids(mg/l)	Volatile Solids(mg/l)	Fixed Solids(mg/l)
0	9.73	347	1,600	1,000	600
250	7.08	257	8,000	4,667	3,333
750	5.95	170	10,000	6,667	3,333
1,375	4.58	8.5	16,000	10,000	6,000
1,875	4.27	6.5	16,667	9,334	7,333
2,500	4.19	7.0	17,333	9,333	8,000

ตารางผนวก 3 ผลการทดลองหาค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวของตะกอนในน้ำรวมจากการทดลองจาร์เทสต์ โดยมีสารส้มในปริมาณต่างๆ เป็นสารก่อตะกอน

Dose	Parameters				
(mg/l)	pH	Turbidity(NTU)	Total Solids(mg/l)	Volatile Solids(mg/l)	Fixed Solids(mg/l)
0	9.73	187	600	400	200
300	5.64	108	4,667	2,667	2,000
450	5.61	5.17	6,667	3,334	3,333
600	4.66	1.97	7,900	4,667	3,233
750	4.36	2.61	8,000	4,667	3,333
900	4.30	3.80	8,667	4,666	4,001
1,200	3.99	3.83	9,333	5,333	4,000
1,500	3.94	3.94	10,370	5,926	4,444

ตารางผนวก 4 ผลการทดลองหาค่าของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัวของตะกอนในน้ำรวมจากการทดลองจาร์เทสต์ โดยมีสารส้มในปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารโพลิเมอร์ประจุลบ 5 มก./ล. เป็นสารก่อตะกอน

Dose	Parameters				
(mg/l)	pH	Turbidity(NTU)	Total Solids(mg/l)	Volatile Solids(mg/l)	Fixed Solids(mg/l)
0	8.10	187	600	400	200
300	6.02	65.3	6,000	4,000	2,000
450	5.76	1.93	6,667	4,000	2,667
600	4.83	5.3	8,667	4,667	4,000
750	4.39	3.8	8,696	5,797	2,899
1,200	3.38	4.2	10,000	6,000	4,000

ตารางผนวก 5 คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำซักผ้า	8.74	250.0	-	130.0	-	1,165	-	400	-	1.82	-	15.06	-	110,000	-	110,000	-
น้ำต.1	5.28	32.0	87.2	39.0	70.0	365	68.7	137	65.8	1.28	29.8	14.22	5.6	21,000	80.9	1,100	99.0
น้ำต.2	5.26	33.0	86.8	39.0	70.0	368	68.4	137	65.8	1.28	29.8	14.22	5.6	21,000	80.9	900	99.2
น้ำต.3	5.23	34.6	86.2	40.0	69.2	368	68.4	135	66.3	1.28	29.8	14.17	5.9	15,000	86.4	900	99.2
น้ำต.4	5.21	35.0	86.0	40.0	69.2	364	68.8	137	65.8	1.27	30.1	14.06	6.6	15,000	86.4	900	99.2
น้ำก.1	5.30	10.6	66.8	4.0	89.7	315	13.7	113	17.5	1.16	9.1	12.32	13.4	1,500	92.9	150	86.4
น้ำก.2	5.27	11.7	64.5	4.0	89.7	318	13.6	113	17.5	1.15	9.9	12.43	12.6	1,500	92.9	150	83.3
น้ำก.3	5.24	12.5	63.9	5.0	87.5	320	13.0	114	15.6	1.16	9.1	12.60	11.1	1,500	90.0	150	83.3
น้ำก.4	5.21	12.7	63.7	5.0	87.5	318	12.6	116	15.3	1.16	8.7	12.54	10.8	1,500	90.0	150	83.3

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids = 14,660 mg/l , Volatile Solids =8,690 mg/l, Fixed Solids = 5,970 mg/l

หมายเหตุ : ต.1-ต.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ก.1-ก.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ตารางผนวก 6 คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายเป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำซักผ้า	8.66	218.0	-	125.0	-	750	-	340	-	1.43	-	14.12	-	110,000	-	46,000	-
น้ำต.1	5.18	24.0	89.0	28.0	77.6	235	68.7	121	64.4	1.25	12.6	13.04	7.6	15,000	86.4	2,000	95.7
น้ำต.2	5.14	24.0	89.0	27.0	78.4	232	69.1	119	65.0	1.24	13.5	12.99	8.0	12,000	89.1	1,500	96.7
น้ำต.3	5.10	22.0	89.9	24.0	80.8	238	68.3	122	64.1	1.23	14.0	12.99	8.0	7,500	93.2	1,400	97.0
น้ำต.4	4.98	21.0	90.4	24.0	80.8	235	68.7	120	64.7	1.21	15.5	12.82	9.2	4,300	96.1	1,400	97.0
น้ำก.1	5.17	1.0	96.0	0.9	96.8	198	15.7	101	16.5	1.15	8.0	11.20	14.1	930	93.8	200	90.0
น้ำก.2	5.12	1.4	94.4	1.0	96.3	197	15.1	100	16.0	1.15	7.0	11.20	13.8	930	92.3	210	86.0
น้ำก.3	4.99	1.7	92.5	1.2	95.0	203	14.7	103	15.6	1.15	6.5	11.20	13.8	750	90.0	230	83.6
น้ำก.4	4.98	2.1	89.9	2.0	91.7	203	13.6	103	14.2	1.13	6.5	11.20	12.6	640	85.1	230	83.6

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids = 10,560 mg/l , Volatile Solids =5,880 mg/l , Fixed Solids = 4,680 mg/l

หมายเหตุ : ต.1-ต.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ก.1-ก.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ตารางผนวก 7 คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำซักผ้า	8.16	213.0	-	146.0	-	984	-	625	-	1.56	-	14.90	-	110,000	-	2,100	-
น้ำต.1	5.11	32.7	84.6	34.0	76.7	354	64.0	176	71.8	1.20	23.2	14.00	6.0	2,800	97.5	400	81.0
น้ำต.2	4.99	33.0	84.5	37.0	74.7	355	63.9	178	71.5	1.17	25.1	14.00	6.0	2,800	97.5	300	85.7
น้ำต.3	4.94	32.7	84.6	33.0	77.4	352	64.2	180	71.2	1.15	26.4	13.78	7.5	2,300	97.9	300	85.7
น้ำต.4	4.90	33.5	84.3	35.0	76.0	356	63.8	175	72.0	1.15	26.4	13.66	8.3	2,300	97.9	300	85.7
น้ำก.1	5.11	1.5	95.4	0.8	97.6	305	13.8	148	15.9	0.94	21.7	10.92	22.0	200	92.9	30	92.5
น้ำก.2	4.93	1.6	95.3	0.9	97.6	306	13.8	150	15.7	0.92	21.4	10.92	22.0	210	92.5	30	90.0
น้ำก.3	4.91	1.5	95.3	0.8	97.6	306	13.1	151	16.1	0.91	20.9	11.14	19.2	200	91.3	30	90.0
น้ำก.4	4.88	1.6	95.2	1.2	96.6	310	12.9	150	14.3	0.92	20.0	11.03	19.3	210	90.9	30	90.0

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids = 15,860 mg/l , Volatile Solids =10,930 mg/l , Fixed Solids = 4,930 mg/l

หมายเหตุ : ต.1-ต.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ก.1-ก.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ตารางผนวก 8 คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำซักผ้า	10.77	276.0	-	220.0	-	1,325	-	690	-	1.53	-	10.14	-	22,500	-	2,800	-
น้ำต.1	5.18	12.9	95.3	16.0	92.7	315	76.2	135	80.4	1.29	15.8	4.93	51.4	2,100	90.7	300	89.3
น้ำต.2	5.16	13.0	95.3	16.0	92.7	317	76.1	138	80.0	1.30	15.3	4.76	53.1	2,100	90.7	300	89.3
น้ำต.3	5.14	13.0	95.3	14.0	93.6	317	76.1	136	80.3	1.27	17.3	4.70	53.6	2,000	91.1	300	89.3
น้ำต.4	5.10	12.0	95.7	14.0	93.6	317	76.1	137	80.1	1.26	17.4	4.70	53.6	1,500	93.3	300	89.3
น้ำก.1	5.17	2.3	82.0	1.0	93.8	264	16.2	110	18.5	1.12	13.1	3.64	26.2	150	92.9	40	86.7
น้ำก.2	5.15	2.4	81.4	1.0	93.8	268	15.5	112	18.8	1.14	12.1	3.64	23.5	150	92.9	40	86.7
น้ำก.3	5.12	2.5	80.7	1.0	92.9	268	15.5	112	17.6	1.14	10.0	3.75	20.2	150	92.5	40	86.7
น้ำก.4	5.00	2.6	78.5	1.0	92.9	265	16.4	114	16.8	1.15	9.0	3.75	20.2	210	86.0	40	86.7

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids = 15,110 mg/l , Volatile Solids =9,840 mg/l , Fixed Solids = 5,270 mg/l

หมายเหตุ : ร้านซักรีดเปลี่ยนมาใช้น้ำยาซักผ้าซึ่งทำขึ้นเอง แทนการใช้ผงซักฟอก

ต.1-ต.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ก.1-ก.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ตารางผนวก 9 คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายเป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำซักผ้า	10.38	249.0	-	198.0	-	927	-	470	-	1.47	-	9.02	-	110,000	-	21,000	-
น้ำต.1	5.10	9.6	96.1	11.5	94.2	237	74.4	112	76.2	1.27	13.5	2.63	70.8	12,000	89.1	1,500	92.9
น้ำต.2	5.10	8.9	96.4	11.5	94.2	237	74.4	110	76.6	1.29	12.2	2.52	72.1	9,300	91.5	1,500	92.9
น้ำต.3	5.08	8.5	96.6	10.5	94.7	237	74.4	111	76.4	1.26	14.2	2.41	73.3	7,500	93.2	1,100	94.8
น้ำต.4	5.08	8.2	96.7	10.0	94.9	240	74.1	115	75.5	1.25	14.9	2.41	73.3	6,400	94.2	1,100	94.8
น้ำก.1	5.10	0.4	95.8	0.35	97.0	195	17.7	90	19.6	1.16	8.7	1.96	25.5	750	93.8	140	90.7
น้ำก.2	5.07	0.4	95.4	0.40	96.5	200	15.6	90	18.2	1.19	7.9	1.96	22.2	750	91.9	150	90.0
น้ำก.3	5.05	0.4	95.5	0.40	96.2	200	15.6	92	17.1	1.18	6.3	1.96	18.7	750	90.0	140	87.3
น้ำก.4	5.05	0.4	95.0	0.55	94.5	205	14.6	96	16.5	1.17	6.4	1.96	18.7	640	90.0	150	86.4

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids= 10,700 mg/l , Volatile Solids=6,010 mg/l , Fixed Solids= 4,690 mg/l

หมายเหตุ : ร้านซักรีดเปลี่ยนมาใช้น้ำยาซักผ้าซึ่งทำขึ้นเอง แทนการใช้ผงซักฟอก

ต.1-ต.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ก.1-ก.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ตารางผนวก 10 คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำซักผ้า	9.65	518.0	-	430.0	-	2,010	-	830	-	1.99	-	13.66	-	110,000	-	9,300	-
น้ำต.1	4.57	24.4	95.3	27.0	93.7	332	83.5	148	82.2	1.22	39.0	12.66	7.3	2,300	97.9	900	90.3
น้ำต.2	4.54	25.6	95.1	27.0	93.7	334	83.4	148	82.2	1.19	40.3	12.49	8.6	2,100	98.1	700	92.5
น้ำต.3	4.50	24.1	95.3	26.0	94.0	330	83.6	143	82.8	1.18	40.8	12.49	8.6	2,000	98.2	700	92.5
น้ำต.4	4.47	25.0	97.5	25.0	94.2	328	83.7	140	83.1	1.20	39.7	12.38	9.4	2,000	98.2	400	95.7
น้ำก.1	4.54	0.7	97.0	0.4	98.5	280	15.7	120	18.9	0.90	25.9	9.52	24.8	150	93.5	40	95.6
น้ำก.2	4.52	0.9	96.5	0.5	98.1	283	15.3	121	18.2	0.92	22.6	9.41	24.7	150	92.9	40	94.3
น้ำก.3	4.48	0.8	96.8	0.5	98.1	283	14.2	121	15.4	0.95	19.4	9.41	24.7	150	92.5	70	90.0
น้ำก.4	4.47	1.0	96.0	0.8	96.8	285	13.1	122	12.9	0.97	19.2	9.30	24.9	210	89.5	70	82.5

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids= 12,370 mg/l, Volatile Solids=7,460 mg/l, Fixed Solids= 4,910 mg/l

หมายเหตุ : ต.1-ต.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ก.1-ก.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ตารางผนวก 11 คุณภาพน้ำซักผ้าที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 81 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำซักผ้า	7.32	427.0	-	407.0	-	1,418	-	723	-	1.71	-	12.77	-	110,000	-	9,300	-
น้ำต.1	4.69	35.9	91.6	30.0	92.6	378	73.3	200	72.3	1.23	28.1	11.26	11.8	2,100	98.1	900	90.3
น้ำต.2	4.64	36.8	91.4	33.0	91.9	380	73.2	198	72.6	1.23	27.8	11.03	13.6	2,000	98.2	700	92.5
น้ำต.3	4.63	37.2	91.3	31.0	92.4	382	73.1	196	72.9	1.22	28.6	11.20	12.3	2,000	98.2	700	92.5
น้ำต.4	4.61	37.9	91.1	32.0	92.1	382	73.1	197	72.8	1.24	27.7	10.92	14.5	1,500	98.6	400	95.7
น้ำก.1	4.66	1.3	96.4	0.6	98.0	320	15.3	165	17.5	0.95	22.8	8.74	22.4	140	93.3	30	96.7
น้ำก.2	4.62	1.5	95.9	0.7	97.9	325	14.5	165	16.7	0.97	21.4	8.57	22.3	150	92.5	40	94.3
น้ำก.3	4.59	1.6	95.8	0.9	97.2	329	13.9	167	14.8	0.97	20.6	8.68	22.5	150	92.5	70	90.0
น้ำก.4	4.58	1.8	95.3	1.0	96.9	328	14.1	170	13.7	1.00	19.1	8.51	22.1	150	90.0	70	82.5

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids= 18,440 mg/l , Volatile Solids=10,800 mg/l , Fixed Solids= 7,640 mg/l

หมายเหตุ : ต.1-ต.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ก.1-ก.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ตารางผนวก 12 คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำซักผ้า	7.15	152.0	-	78	-	783	-	240	-	1.51	-	11.93	-	110,000	-	24,000	-
น้ำต.1	5.24	17.5	88.5	27	65.4	164	79.1	98	59.2	1.29	14.4	11.26	5.6	12,000	89.1	1,500	93.8
น้ำต.2	5.20	17.4	88.6	25	67.9	160	79.6	95	60.4	1.28	14.8	11.26	5.6	12,000	89.1	1,500	93.8
น้ำต.3	5.13	16.1	89.4	25	67.9	163	79.2	97	59.6	1.24	18.0	11.09	7.0	9,300	91.5	1,500	93.8
น้ำต.4	4.99	15.9	89.5	23	70.5	160	79.6	95	60.4	1.24	18.0	10.92	8.5	9,300	91.5	1,500	93.8
น้ำก.1	5.24	1.3	92.5	2	92.6	137	16.5	73	25.5	1.10	14.8	10.25	9.0	930	92.3	110	92.7
น้ำก.2	5.19	1.3	92.4	2	92.0	135	15.6	72	24.2	1.10	14.3	10.36	8.0	930	92.3	110	92.7
น้ำก.3	5.00	1.3	91.7	3	88.0	138	15.3	73	24.7	1.14	7.8	10.53	5.0	750	91.9	150	90.0
น้ำก.4	4.97	2.5	84.0	4	82.6	134	16.3	74	22.1	1.16	6.1	10.53	3.6	930	90.0	200	86.7

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids = 10,040 mg/l , Volatile Solids =5,740 mg/l , Fixed Solids = 4,300 mg/l

หมายเหตุ : ต.1-ต.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ก.1-ก.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ตารางผนวก 13 คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายเป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำซักผ้า	7.16	133.0	-	68.0	-	304	-	195	-	1.44	-	13.66	-	110,000	-	46,000	-
น้ำต.1	5.21	30.0	77.4	31.0	54.4	130	57.2	70	64.1	1.22	15.3	12.88	5.7	2,300	97.9	900	98.0
น้ำต.2	5.18	28.0	78.9	29.0	57.4	128	57.9	68	65.1	1.20	16.6	12.77	6.5	700	99.4	400	99.1
น้ำต.3	4.99	25.0	81.2	26.0	61.8	128	57.9	65	66.7	1.19	17.3	12.71	7.0	700	99.4	400	99.1
น้ำต.4	4.96	24.0	82.0	26.0	61.8	128	57.9	65	66.7	1.20	16.4	12.71	7.0	700	99.4	400	99.1
น้ำก.1	5.19	1.0	96.7	1.0	96.8	108	16.9	48	31.4	1.13	7.4	11.20	13.0	90	96.1	40	95.6
น้ำก.2	5.14	1.2	95.7	1.0	96.6	106	17.2	47	30.9	1.12	6.7	11.20	12.3	70	90.0	40	90.0
น้ำก.3	4.97	1.3	95.0	1.2	95.4	107	16.4	46	29.2	1.11	6.7	11.42	10.1	70	90.0	40	90.0
น้ำก.4	4.96	2.0	91.7	1.5	94.2	108	15.6	46	29.2	1.13	6.4	11.54	9.2	70	90.0	40	90.0

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids = 9,910 mg/l , Volatile Solids =5,860 mg/l , Fixed Solids = 4,050 mg/l

หมายเหตุ : ต.1-ต.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ก.1-ก.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ตารางผนวก 14 คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 122 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำซักผ้า	7.05	96.1	-	52.0	-	356	-	168	-	1.34	-	12.60	-	110,000	-	46,000	-
น้ำต.1	5.10	23.0	76.1	27.0	48.1	124	65.2	61	63.7	1.23	8.4	11.98	4.9	21,000	80.9	1,500	96.7
น้ำต.2	4.95	24.2	74.8	29.0	44.2	124	65.2	62	63.1	1.22	9.2	11.98	4.9	20,000	81.8	1,500	96.7
น้ำต.3	4.91	23.0	76.1	27.0	48.1	124	65.2	60	64.3	1.20	10.7	11.98	4.9	15,000	86.4	1,100	97.6
น้ำต.4	4.90	24.3	74.7	27.0	48.1	120	66.3	59	64.9	1.20	10.7	12.10	4.0	15,000	86.4	1,100	97.6
น้ำก.1	4.99	0.4	98.5	0.3	98.9	98	21.0	42	31.1	0.83	32.5	9.13	23.8	1,200	94.3	110	92.7
น้ำก.2	4.94	0.4	98.4	0.5	98.3	100	19.4	44	29.0	0.83	32.0	9.35	22.0	1,200	94.0	110	92.7
น้ำก.3	4.91	0.4	98.3	0.5	98.1	100	19.4	42	30.0	0.82	31.7	9.80	18.2	1,500	90.0	90	91.8
น้ำก.4	4.88	0.4	98.2	0.5	98.1	97	19.2	42	28.8	0.82	31.7	9.80	19.0	1,500	90.0	140	87.3

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids = 15,110 mg/l , Volatile Solids =9,840 mg/l , Fixed Solids = 5,270 mg/l

หมายเหตุ : ต.1-ต.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ก.1-ก.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ตารางผนวก 15 คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำรวม	9.53	99.0	-	54.0	-	470	-	213	-	1.40	-	6.55	-	110,000	-	46,000	-
น้ำต.1	5.91	9.8	90.10	13.0	75.93	131	72.1	71	66.7	1.30	6.8	1.06	83.8	15,000	86.4	2,100	95.4
น้ำต.2	5.90	8.7	91.18	11.3	79.02	131	72.1	71	66.7	1.30	6.8	0.95	85.5	15,000	86.4	2,100	95.4
น้ำต.3	5.90	8.8	91.15	11.3	79.02	133	71.7	74	65.3	1.28	8.2	0.95	85.5	12,000	89.1	1,500	96.7
น้ำต.4	5.89	9.3	90.62	10.2	81.11	135	71.3	75	64.8	1.28	8.2	0.84	87.2	12,000	89.1	1,500	96.7
น้ำก.1	5.89	0.7	93.37	1.0	92.31	107	18.3	48	32.4	1.13	13.1	0.78	26.4	1,200	92.0	150	92.9
น้ำก.2	5.88	0.6	93.36	1.0	91.17	108	17.6	49	31.0	1.15	11.5	0.73	23.2	1,200	92.0	150	92.9
น้ำก.3	5.88	0.8	91.21	1.0	91.17	110	17.3	51	31.1	1.15	10.2	0.73	23.2	930	92.3	150	90.0
น้ำก.4	5.87	1.4	84.93	1.2	88.24	114	15.6	52	30.7	1.16	9.4	0.67	20.2	930	92.3	210	86.0

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids = 9,580 mg/l , Volatile Solids = 6,000 mg/l , Fixed Solids = 3,580 mg/l

หมายเหตุ : ร้านซักรีดเปลี่ยนใช้น้ำยาซักผ้าซึ่งทำเองแทนการใช้ผงซักฟอก

ต.1-ต.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ก.1-ก.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ตารางผนวก 16 คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายเป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำรวม	9.38	155.0	-	97.0	-	707	-	520	-	1.34	-	7.62	-	110,000	-	9,300	-
น้ำต.1	6.16	30.0	80.65	29.0	70.10	285	59.7	148	71.5	1.33	1.1	2.69	64.7	1,500	98.6	400	95.7
น้ำต.2	6.14	30.4	80.39	29.0	70.10	288	59.3	150	71.2	1.32	1.3	2.58	66.1	1,100	99.0	300	96.8
น้ำต.3	6.10	31.1	79.94	29.0	70.10	287	59.4	150	71.2	1.31	2.3	2.35	69.2	1,100	99.0	300	96.8
น้ำต.4	5.98	30.9	80.06	30.0	69.07	285	59.7	148	71.5	1.29	3.8	2.35	69.2	900	99.2	300	96.8
น้ำก.1	6.12	1.1	96.33	1.0	96.55	200	29.8	95	35.8	1.17	11.5	1.90	29.4	90	94.0	30	92.5
น้ำก.2	6.09	1.1	96.32	1.0	96.55	202	29.9	99	34.0	1.17	11.7	1.85	28.3	70	93.6	30	90.0
น้ำก.3	6.02	1.2	96.30	1.2	95.86	202	29.6	100	33.3	1.16	11.5	1.68	28.5	70	93.6	30	90.0
น้ำก.4	5.96	1.8	94.17	1.6	94.67	203	28.8	100	32.4	1.14	11.6	1.79	23.8	110	87.8	30	90.0

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids = 8,910 mg/l , Volatile Solids = 5,580 mg/l , Fixed Solids = 3,330 mg/l

หมายเหตุ : ต.1-ต.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ก.1-ก.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ตารางผนวก 17 คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำรวม	6.66	234.0	-	263.0	-	775	-	292	-	1.41	-	12.26	-	110,000	-	9,300	-
น้ำต.1	4.85	24.9	89.36	32.0	87.83	246	68.3	90	69.2	1.28	9.4	9.97	18.7	9,300	91.5	700	92.5
น้ำต.2	4.83	25.2	89.23	33.0	87.45	249	67.9	90	69.2	1.26	10.4	9.91	19.2	7,500	93.2	400	95.7
น้ำต.3	4.82	24.7	89.44	29.0	88.97	246	68.3	87	70.2	1.28	9.3	10.08	17.8	9,300	91.5	400	95.7
น้ำต.4	4.79	25.0	89.32	31.0	88.21	251	67.6	88	69.9	1.27	9.9	9.97	18.7	7,500	93.2	300	96.8
น้ำก.1	4.81	0.4	98.55	0.3	99.06	172	30.1	57	36.7	0.85	33.4	7.06	29.2	430	95.4	30	95.7
น้ำก.2	4.77	0.4	98.45	0.4	98.79	174	30.1	58	35.6	0.85	32.7	7.11	28.3	430	94.3	30	92.5
น้ำก.3	4.75	0.4	98.42	0.4	98.62	173	29.7	57	34.5	0.88	31.2	7.28	27.8	430	95.4	30	92.5
น้ำก.4	4.68	0.4	98.32	0.6	98.13	177	29.5	60	31.8	0.86	32.3	7.28	27.0	430	94.3	30	90.0

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids= 10,610 mg/l , Volatile Solids =5,750 mg/l , Fixed Solids= 4,860 mg/l

หมายเหตุ : ต.1-ต.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ก.1-ก.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ตารางผนวก 18 คุณภาพน้ำรวมที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 81 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำรวม	6.97	147.0	-	68.0	-	600	-	324	-	1.32	-	12.71	-	110,000	-	9,300	
น้ำต.1	5.10	27.0	81.63	30.0	55.88	232	61.3	134	58.6	1.15	12.7	10.98	13.6	7,500	93.2	1,500	83.9
น้ำต.2	5.00	26.8	81.77	29.0	57.35	232	61.3	136	58.0	1.14	14.1	10.81	14.9	9,300	91.5	1,500	83.9
น้ำต.3	4.95	26.0	82.31	26.0	61.76	230	61.7	134	58.6	1.16	12.5	10.19	19.8	9,300	91.5	1,400	84.9
น้ำต.4	4.94	25.8	82.45	25.0	63.24	230	61.7	135	58.3	1.12	15.4	10.02	21.2	7,500	93.2	1,400	84.9
น้ำก.1	4.99	0.4	98.52	0.4	98.67	176	24.1	93	30.6	0.76	34.1	8.40	23.5	390	94.8	90	94.0
น้ำก.2	4.98	0.4	98.47	0.4	98.62	180	22.4	95	30.1	0.78	31.3	8.29	23.3	640	93.1	90	94.0
น้ำก.3	4.94	0.4	98.46	0.4	98.46	178	22.6	94	29.9	0.79	31.7	8.06	20.9	930	90.0	110	92.1
น้ำก.4	4.93	0.5	98.22	0.6	97.60	180	21.7	95	29.6	0.81	27.6	8.01	20.1	640	91.5	140	90.0

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids= 8,070 mg/l , Volatile Solids =4,500 mg/l, Fixed Solids= 3,570 mg/l

หมายเหตุ : ต.1-ต.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ก.1-ก.4 หมายถึง น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกรองในระหว่างชั่วโมงที่ 1-4

ตารางผนวก 19 คุณภาพน้ำเสียจากขั้นตอนการซักและล้างผ้าที่สลับกันผ่านระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยมีทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์เป็นสารกรอง ที่อัตราการกรอง 41 ล./ม.^{2}-นาที

Sample	pH	Turbidity (NTU)		SS (mg/l)		COD (mg/l)		BOD (mg/l)		Surfactant (mg/l)		TP (mg/l)		Coliform Bacteria (MPN/100 ml)		Fecal Coliform Bac.(MPN/100 ml)	
		ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove	ผล	%Remove
น้ำซักผ้า	8..76	260.0	-	323.0	-	993	-	492	-	1.45	-	9.74	-	110,000	-	12,000	
น้ำล้าง1	7.49	182.0	-	282.0	-	737	-	420	-	1.37	-	5.94	-	110,000	-	12,000	-
น้ำล้าง2	6.74	71.0	-	40.0	-	248	-	108	-	1.26	-	2.13	-	46,000	-	7,500	-
น้ำล้าง3	6.28	128.0	-	46.0	-	293	-	99	-	1.12	-	2.02	-	46,000	-	7,500	-
ค่าเฉลี่ย	6.84	160.3	-	172.75	-	568	-	279.75	-	1.30	-	4.96	-	78,000	-	9,750	-
น้ำต.1	4.40	25.3	84.21	18.0	89.58	190	66.5	92	67.1	1.15	11.5	3.08	37.9	3,900	95.0	2,300	76.4
น้ำต.2	4.49	20.9	86.96	16.0	90.74	175	69.2	92	67.1	1.14	12.3	2.97	40.1	2,000	97.4	1,500	84.6
น้ำต.3	4.62	19.6	87.77	9.0	94.79	174	69.4	90	67.8	1.15	11.5	3.02	39.1	2,300	97.1	900	90.8
น้ำก.1	4.37	0.4	98.42	0.22	98.78	131	31.1	60	34.8	0.75	34.8	2.18	29.2	280	92.8	70	97.0
น้ำก.2	4.43	0.6	97.27	0.22	98.63	132	30.5	62	32.6	0.73	36.0	2.18	26.6	150	92.5	40	97.3
น้ำก.3	4.57	0.6	96.94	0.22	97.56	130	25.3	62	31.1	0.73	36.5	2.18	27.8	210	90.9	70	92.2

ค่าของแข็งของตะกอน : Total Solids= 11,100 mg/l , Volatile Solids = 6,930 mg/l , Fixed Solids = 4,170 mg/l

หมายเหตุ : ต.1-ต.3 หมายถึง น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอน ระหว่างชั่วโมงที่ 1-3 และก.1-ก.3 หมายถึง น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการกรองระหว่างชั่วโมงที่ 1-3

ตารางผนวก 20 ผลการวิเคราะห์น้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีดประเภทต่างๆ

Parameter	น้ำซักผ้า					น้ำล้างผ้า ครั้งที่ 1					น้ำล้างผ้า ครั้งที่ 2					น้ำล้างผ้า +น้ำยาปรับผ้านุ่ม					น้ำรวม				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
pH	8.76	9.94	9.86	9.62	10.3	7.49	9.60	3.6	7.8	10.3	6.74	-	-	7.42	9.74	6.28	6.1	5.66	7.55	4.67	7.25	8.4	9	7.85	7.85
Temp.(°C)	28	24.8	60	66.7	28	30	24.80	40	32	28	28	-	-	32	28	28	25	31	32	28	28	26	28	28	28
Turbidity (NTU)	260	210	82	260	87	182	15	45	140	58	71	-	-	220	46	128	7.2	41	220	31	174	58	52	210	55
DO (mg/l)	6.3	5	4	5.5	6.5	6.5	4.80	3.50	5.40	5.50	6.2	-	-	7	5.7	6.2	5	7.5	8	6	6.5	5.2	5	6	5
BOD (mg/l)	492	254	184	260	315	420	95	69	236	145	108	-	-	108	83	99	78	42	118	112	346	116	122	125	161
COD (mg/l)	993	651	376	521	575	737	267	123	521	255	248	-	-	197	177	293	110	68	218	211	615	320	197	324	279
Alkalinity (mg/l as $CaCO_3$)	561	629	684	550	261	375	240	23	232	199	174	-	-	211	81	110	51	23	294	0	232	322	229	241	132
SS (mg/l)	323	227	131	110	168	282	17	37	87	64	40	-	-	95	51	46	3	33	77	30	115	67	47	85	50
TDS (mg/l)	1,546	1,581	2,400	2,781	1,646	-	1,581	773	2,781	1,646	-	-	-	978	384	200	157	288	1,836	1,566	860	1,005	1,794	1,702	970
TP (mg/l)	19.68	14.17	15.42	15.5	19.70	6.20	6.04	4.06	4.48	7.45	1.38	-	-	1.06	1.55	0.36	0.01	0.04	0.04	0.21	16.60	9.01	12.11	12.32	16.67
NH_3-N (mg/l)	1.50	1.79	0.34	3.84	1.48	1.20	1.20	0.20	1.48	0.81	0.87	-	-	1.68	0.25	0.54	1.5	0.17	1.85	0.62	0.70	1.48	0.22	2.04	0.7
TKN (mg/l)	8.90	5.51	8.04	6.44	8.87	5.2	1.34	2.4	4.03	2.55	2.10	-	-	2.52	1.57	0.56	1.5	0.5	2.41	1.40	7.10	5.29	4.42	3.36	7.11
Surfactant (mg./l)	1.48	-	-	-	-	0.84	-	-	-	-	0.32	-	-	-	-	0.26	-	-	-	-	1.68	-	-	-	-
Coliform bac.(MPN/100 ml)	110,000	80	0	0	40	24,000	60	0	80	20	24,000	-	-	20	0	9,300	20	490	20	20	110,000	80	0	460	20
Fecal Coliform bac. (MPN/100 ml)	46,000	80	0	0	40	15,000	60	0	80	20	15,000	-	-	20	0	3,900	20	220	20	20	21,000	80	0	210	20

หมายเหตุ : 1 หมายถึง ร้านซักรีดในมอ. 2 หมายถึง ตัวแทนร้านซักรีดทั่วไป 3 หมายถึง กิจกรรมซักรีดในโรงแรมลีการ์เดนท์

4 หมายถึง โรงงานทักษิณซักรีด 5 หมายถึง กิจกรรมซักรีดในโรงพยาบาลหาดใหญ่

ตารางผนวก 21 ค่าของแข็งของตะกอนจากการทดลองโดยใช้น้ำซักผ้าในถังตกตะกอนที่อัตราน้ำเข้า 122, 81 และ 41 ล./ม.^{2}-นาที

ค่าของแข็งในตะกอน (มก./ล.)	ถ่านแอนทราไซท์		ทราย		ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์		
	อัตราน้ำไหลเข้า		อัตราน้ำไหลเข้า		อัตราน้ำไหลเข้า		
	122 (ล./ม.^{2}-นาที)	41 (ล./ม.^{2}-นาที)	122 (ล./ม.^{2}-นาที)	41 (ล./ม.^{2}-นาที)	122 (ล./ม.^{2}-นาที)	81 (ล./ม.^{2}-นาที)	41 (ล./ม.^{2}-นาที)
ค่าของแข็งทั้งหมด	14,660	15,120	10,560	10,720	15,860	18,440	12,060
ค่าของแข็งระเหย	8,690	9,840	5,880	6,010	10,930	10,800	7,460
ค่าของแข็งคงตัวทั้งหมด	5,970	5,270	4,680	3,330	4,930	7,640	4,910

ตารางผนวก 22 ค่าของแข็งของตะกอนจากการทดลองโดยใช้น้ำรวมในถังตกตะกอนที่อัตราน้ำเข้า 122, 81 และ 41 ล./ม.^{2}-นาที

ค่าของแข็งในตะกอน (มก./ล.)	ถ่านแอนทราไซท์		ทราย		ทรายร่วมกับถ่านแอนทราไซท์		
	อัตราน้ำไหลเข้า		อัตราน้ำไหลเข้า		อัตราน้ำไหลเข้า		
	122 (ล./ม.^{2}-นาที)	41 (ล./ม.^{2}-นาที)	122 (ล./ม.^{2}-นาที)	41 (ล./ม.^{2}-นาที)	122 (ล./ม.^{2}-นาที)	81 (ล./ม.^{2}-นาที)	41 (ล./ม.^{2}-นาที)
ค่าของแข็งทั้งหมด	10,040	9,580	9,910	8,,910	15,110	8,070	10,620
ค่าของแข็งระเหย	5,740	6,000	5,860	5,580	9,840	4,500	5,750
ค่าของแข็งคงตัวทั้งหมด	4,300	3,580	4,050	3,300	5,270	3,570	4,860

วิธีวิเคราะห์น้ำเสีย

1. การวิเคราะห์ทางเคมี

1.1 **ความเป็นด่าง** (Alkalinity) โดยวิธี Direct Titration Method (APHA, AWWA and WEF, 1992)

<u>สารละลายที่ใช้</u>

1. น้ำกลั่นที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อใช้เตรียมสารต่างๆ

2. สารละลายฟีนอฟทาลีน อินดิเคเตอร์

3. สารละลายมาตราฐานกรดซัลฟูริค ความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล หาค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริค โดยไตเตรทกับสารละลายมาตราฐานโซเดียมคาร์บอเนต 0.02 นอร์มัล ซึ่งเตรียมได้โดยละลายโซเดียมคาร์บอเนต (อบแห้งที่ 110°ซ) 1.06 กรัม ในน้ำกลั่นและเติมให้เป็น 1 ลิตร โดยใช้ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask) สารละลายมาตราฐานกรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.02 นอร์มัล 1 มล. จะมีค่าเท่ากับ 1.00 มก.

4. สารละลายเมทธีลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์

5. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ละลาย $Na_2S_2O_3$ $5H_2O$ 25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

<u>วิธีการ</u>

เลือกใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำที่จะหาให้เหมาะสม เพื่อที่จะใช้สารละลายมาตราฐานกรดซัลฟูริคไม่เกิน 25 มล. ในการไตเตรทโดยทั่วไปจะใช้ 50 มล. หรือ 100 มล. ไล่คลอรีนอิสระที่อาจมีอยู่ในตัวอย่างน้ำโดยหยดสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ลงไป 1 หยด (0.05 มล.)

1. ดูดตัวอย่างน้ำ 100 มล. โดยใช้ปิเปต ใส่ลงในเออเลนเมเยอร์ฟลาส (Erlenmeyer Flask) และดูดน้ำกลั่น 100 มล. ใส่ลงในเอุอเลนเมเยอร์ฟลาสอีกใบหนึ่ง

2. หยดฟีนอฟทาลีน อินดิเคเตอร์ ลงไปฟลาสละ 3 หยด

3. ถ้าตัวอย่างน้ำมีสีชมพู ให้ไตเตรทด้วยกรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งสีชมพูหายไป (=P)

4. หยดเมทธีลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์ 3 หยด ลงในแต่ละฟลาส

5. ถ้าตัวอย่างมีสีเหลืองเรื่อๆ ให้ไตเตรทต่อไปด้วยกรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งเห็นสีเริ่มเปลี่ยนไปเป็นสีส้ม โดยเปรียบเทียบกับสีในขวดที่มีน้ำกลั่น แสดงว่าถึงจุดสมดุลย์

6. จดปริมาตรกรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.02 นอร์มัล ทั้งหมดที่ใช้ (=T)

การคำนวณ

ความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)= ปริมาตรกรดที่ใช้ทั้งหมด x 10

ให้ P = ปริมาณมล. กรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.02 นอร์มัล ที่ใช้ในการไตเตรท สำหรับฟีนอฟทาลีน อินดิเคเตอร์

T = ปริมาตรมล. กรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.02 นอร์มัล ที่ใช้ในการไตเตรททั้งหมด

1. ถ้า P = T ไฮดรอกไซด์ = Px10
2. ถ้า P > 0.5T ไฮดรอกไซด์ = (2P-T)x10
   คาร์บอเนต = 2(T-P)x10
3. P = 0.5T คาร์บอเนต = Tx10
4. P < 0.5T คาร์บอเนต = 2Tx10
   ไบคาร์บอเนต = (T-P)x10
5. P = 0 ไบคาร์บอเนต = Tx10

หมายเหตุ หน่วยความเข้มข้นเป็น มก./ ล. as $CaCO_3$

1.2 Ammonia Nitrogen โดยใช้วิธี Acidimetric Method (APHA, AWWA and WEF,1992)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือสำหรับกลั่นและเก็บแอมโมเนีย ประกอบด้วยขวดกลั่น (Kjeldahl Flask) ขนาด 800 มล. ซึ่งจะสวมต่อกับ Condenser ในแนวดิ่ง
2. Elenmeyer Flask ขนาด 250 มล.
3. บุเรต ขนาด 25 มล.
4. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter)

สารละลายที่ใช้

1. น้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย
2. สารละลายบอเรทบัฟเฟอร์ เติม NaOH 0.1 นอร์มัล 8.8 มิลลิลิตร ลงในสารละลายโซเดียม เตตราบอเรท ($Na_2B_4O_7$) 0.025 โมลาร์ (ละลาย $Na_2B_4O_7$ 5.0 กรัม หรือ $Na_2B_4O_7$. 10 H_2O 9.5 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร) แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
3. โซเดียมไธโอซัลเฟต ละลาย $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 3.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
4. สารละลายที่ใช้ปรับพีเอช

4.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล

4.2 กรดซัลฟูริค 1 นอร์มัล

5. สารละลายอินดิเคเตอร์ ละลายเมทธีลเรด 200 มก. ใน 100 มล.ของ 95% เอทธีลหรือไอโซ-โพรพริลอัลกอฮอล์ ละลายเมทธีลลีนบูล 100 มก. ใน 50 มล. ของ 95% เอทธีลหรือไอโซโพรพริลอัลกอฮอล์ รวมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน เตรียมใช้แต่ละเดือน

6. สารละลายที่ใช้ดูดกลืนแอมโมเนีย (Absorbent Solution)

6.1 สารละลายกรดบอริคอินดิเคเตอร์ ละลายกรดบอริค 20 กรัม ในน้ำกลั่นเติม Mixed Indicator ลงไป 10 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

6.2 สารละลายกรดซัลฟูริค 0.02 นอร์มัล ตวงกรดซัลฟูริค 1 นอร์มัล 20 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

<u>วิธีการ</u>

1. ตวงตัวอย่างที่ปรับพีเอชให้เป็นกลางแล้ว 500 มล. หรือน้อยกว่านั้น แต่ต้องทำให้เจือจางเป็น 500 มล. ใส่ลงในขวดเจลดาห์ลขนาด 800 มล. ใส่ลูกแก้ว 3 - 4 เม็ด

2. เติมสารละลายบอเรทบัฟเฟอร์ 25 มล. แล้วปรับพีเอชให้เป็น 9.5 ด้วย NaOH 6 นอร์มัล

3. นำไปกลั่น โดยให้ปลายของหลอดที่ต่อนำไอน้ำและแอมโมเนียที่กลั่นออกมาจุ่มใต้สารละลายกรดบอริคอินดิเคเตอร์ เก็บ Distillate ในขวดกรวยขนาด 500 มล. ซึ่งใส่กรดบอริคไว้ 50 มล. เก็บ Distillate 300 มล. แล้วจึงดึงปลายหลอดให้พ้นผิวสารละลาย ทำการกลั่นต่อไปประมาณ 2 นาที เพื่อทำความสะอาด Condenser และหลอด

4. นำน้ำที่ได้จากการกลั่นข้างต้น ไตเตรทด้วยสารละลายมาตราฐานกรดซัลฟูริค 0.01 นอร์มัล เมื่อถึงจุดยุติจะได้สีม่วงอ่อน

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{mg/l Ammonia N} = \frac{(A-B)x280}{(ml)sample}$$

เมื่อ A = มล.ของกรดซัลฟูริคที่ใช้ในการติเตรทตัวอย่าง

B = มล.ของกรดซัลฟูริคที่ใช้ในการติเตรทแบลงค์

1.3 Biochemical Oxygen Demand (BOD) (APHA, AWWA and WEF, 1992)

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. ขวดแก้วมาตราฐาน ขนาดความจุ 250-300 มล. มีจุกปิดได้สนิท ปากกว้างออกเล็กน้อย ทำให้มีร่องเหนือจุกและปากขวด เพื่อให้มีน้ำหล่ออยู่เสมอ ขณะ incubate ที่ 20 °ซ เพื่อกันการดึงอากาศจากภายนอกเข้าไปในขวด ขวดนี้ต้องล้างให้สะอาดทุกครั้งก่อนใช้

2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ 20 °ซ

3. ตู้เย็นขนาด 6 ลูกบาศก์ฟุต หรือใหญ่กว่า

4. กระบอกตวง ขนาด 1 ลิตร

<u>สารละลายที่ใช้</u>

1. น้ำกลั่นบริสุทธิ์ ปราศจากคลอรีน คลอรามีน ความเป็นด่าง (Alkalinity) กรด และสารอินทรีย์ มีทองแดงปนได้ไม่เกิน 0.01 มก./ลิตร

2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ละลาย HK_2PO_4 8.5 กรัม K_2HPO_4 21.75 กรัม $Na_2HPO_4.7H_2O$ 33.4 กรัม และ NH_4Cl 1.7 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มล. แล้วเจือจางจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ควรมีค่า pH 7.2

3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลาย $MgSO_4 7H_2O$ 22.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลาย $CaCl_2$ ที่อบแห้ง 27.5 กรัม แล้วเจือจางจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร

5. สารละลายเฟอริคคลอไรด์ ละลาย $FeCl_2$ 6 H_2O 0.25 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

6. สารละลายโซเดียมซัลไฟท์ 0.025 นอร์มัล ละลาย $NaSO_4$ ที่อบแห้ง 1.575 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วจึงเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร สารละลายนี้สลายตัวได้ง่าย จึงควรเตรียมเฉพาะเวลาที่ต้องการใช้เท่านั้น

7. สารละลายกรดและด่าง 1 นอร์มัล สำหรับใช้ปรับค่า pH ให้เป็นกลาง

<u>วิธีการ</u>

1. การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

1.1 ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่ต้องการใช้ 1 ลิตร ใส่ลงในภาชนะที่สะอาด

1.2 เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมคลอไรด์ และเฟอริคคลอไรด์ ตามลำดับ ใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 มล. ต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร

1.3 เป่าอากาศที่สะอาด เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำเจือจางเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชม.

2. การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะหา

ตัวอย่างน้ำที่เป็นด่างหรือกรด จะต้องปรับ pH ให้เป็นกลาง คือ ประมาณ 7 ด้วยกรดซัลฟูริคเข้มข้น 1 นอร์มัล หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล แล้วแต่กรณี

2.2 ตัวอย่างน้ำที่มีโลหะหนักหรือสารเป็นพิษชนิดอื่นเจือปนอยู่ จะต้องศึกษาและกำจัดเสียก่อน

<u>วิธีการเจือจาง</u>

1. เลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างในการเจือจางที่คาดว่าค่า BOD อยู่ในช่วงที่กำหนด แล้วจึงเลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจาง ที่สูงกว่าและต่ำกว่า ที่อยู่ติดกันอีก 2 ชั้น ตามตารางผนวกที่ 1 ดังนั้นจึงควรรู้ค่า BOD โดยประมาณก่อน

2. ค่อยๆ รินน้ำเจือจาง 700-800 มล. ในกระบอกตวงขนาด 1000 มล. โดยพยายามอย่าให้มีฟองอากาศ

3. เติมตัวอย่างน้ำจำนวนที่ต้องการ แล้วจึงเติมน้ำเจือจางจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4. ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน อย่าให้มีฟองอากาศ

5. ค่อยๆ รินใส่ขวด BOD 3 ขวด ปิดจุก นำไปเก็บในตู้ Incubater ที่ 20 °ซ 2 ขวด อีกขวดนำไปหาค่า DO ที่จุดเริ่มต้น (D_1)

6. ทำเช่นเดียวกันตั้งแต่ข้อ 2 ถึงข้อ 5 สำหรับเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางที่สูงกว่าและต่ำกว่าตามลำดับ

3. การหาปริมาณ DO หาปริมาณ DO ที่จุดเริ่มต้น โดยวิธี Azide Modification of The Idometric Method ดังจะกล่าวในข้อ 1.3.1

4. การเพาะเลี้ยง (Incubation)

จะเพาะเลี้ยงโดยเก็บ 2 ขวดของแต่ละเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางในตู้เย็นมืด อุณหภูมิ 20± 1 °ซ เป็นเวลา 5 วัน จึงนำออกมาหาปริมาณ DO (D_2) ตามหัวข้อที่ 4

5. การควบคุมคุณภาพน้ำเจือจาง

รินน้ำกลั่นที่ใช้เจือจาง แต่ไม่ได้ใส่น้ำเชื้อลงไปในขวด BOD 2 ใบ ปิดจุกแล้วเอาขวดหนึ่งเพาะที่ 20 °ซ ส่วนอีกขวดหนึ่งหาปริมาณ DO ทันที

6. การพิจารณาผลเพื่อใช้คำนวณค่า BOD

ผลที่น่าเชื่อถือและจะใช้คำนวณต่อไปได้นั้น จะต้องมีค่าปริมาณ DO เหลืออยู่อย่างน้อย 1.0 มก./ลิตร และต้องมีการลดปริมาณ DO ลงไปอย่างน้อย 2 มก./ลิตร จึงจะทำให้ค่า BOD ที่คำนวณออกมาได้ถูกต้องที่สุด

7.การคำนวณ

ตารางผนวก 23 ช่วงของค่า BOD ที่วัดได้ตามค่าเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง

ช่วง BOD	เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่าง
20,000 - 70,000	0.01
10,000 - 25,000	0.02
4,000 - 14,000	0.05
2,000 - 7,000	0.1
1,000 - 3,500	0.2
400 - 1,400	0.5
200 - 700	1.0
100 - 350	2.0
40 - 140	5.0
20 - 70	10.0
10 - 35	20.0
4 - 14	50.0
0 - 7	100.0

1.3.1 ออกซิเจนละลายได้ (Dissolved Oxygen) โดยวิธี Azide Modification of The Iodometric

<u>สารละลายที่ใช้</u>

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลาย $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ 480 กรัม หรือ $MnSO_4 \cdot 2H_2O$ 364 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

2. สารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์ ละลาย NaOH 400 กรัม และ NaI 135 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เสร็จแล้วเติม NaN_3 10 กรัม ที่ละลายในน้ำกลั่น 40 ลิตร

3. กรดซัลฟูริคเข้มข้น

4. น้ำแป้ง ละลายแป้งมัน 5 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 50 มล. ค่อยๆ เทลงในน้ำกลั่นประมาณ 800 มล. ที่ต้มจนเดือดและคนจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเติมน้ำจนเป็น 1 ลิตร ปล่อยให้เดือด

ประมาณ 5 นาที ปิดไฟตั้งทิ้งให้เย็นเติมกรด Salicylic 1.25 กรัม หรือใช้ Toluene 2-3 หยด เติมลงในสารละลายน้ำแป้งเพื่อป้องกันบูด

5. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล ใช้ในการไตเตรท ละลาย $Na_2S_2O_3$ $5H_2O$ 6.205 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ๆ และปล่อยให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้สามารถเก็บรักษาให้คงสภาพอยู่ได้โดยเติม NaOH 0.4 กรัมต่อลิตร สารละลายมาตราฐานนี้ 1 มล. จะมีค่าเท่ากับปริมาณสารละลายออกซิเจน (DO) 0.2 กรัม

<u>การหาค่ามาตราฐานของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ด้วยสารละลายไดโครเมท</u>

1. สารละลายมาตราฐานโปแตสเซียมไดโครเมท 0.025 นอร์มัล ละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่อบแห้ง 1.226 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2. ละลาย KI 2 กรัม ในขวดแก้วเออเลนเมเยอร์ฟลาส ด้วยน้ำกลั่น 100 - 150 มล.

3. เติม H_2SO_4 (1+9) 10 มล.

4. เติมสารละลายมาตราฐาน โปรแตสเซียมไดโครเมท ($K_2Cr_2O_7$) 20 มล.

5. ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที

6. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 400 มล. โดยประมาณ

7. ไตเตรท ไอโอดีนที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

8. Normality ของสารละลายไธโอซัลเฟต a x N/20

a = มล. ไธโอซัลเฟตที่ใช้

N= Normality ของสารละลายมาตราฐาน $K_2Cr_2O_7$

9. ปรับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ให้มีความเข้มข้นแน่นอนเป็น 0.025 นอร์มัล

<u>วิธีการ</u>

1. จากตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ในขวด 250-300 มล. เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มล.

2. แล้วเติมสารละลายอัลคาไลด์-อาไซด์ ตามลงไปทันที 2 มล. ให้ปลายหลอดจมอยู่ในน้ำตัวอย่าง

3. ปิดจุก ระวังอย่าให้มีฟองอากาศติดอยู่ในขวด จับขวดคว่ำลงเขย่าลงแบบพลิกฝ่ามือให้ขวดตั้งขึ้นและคว่ำลงสลับกันอย่างน้อย 15 ครั้ง ตั้งปล่อยทิ้งไว้ให้ตะกอนที่เกิดขึ้นนอนก้น

4. รอจนได้น้ำใสส่วนบนประมาณ 100 มล. ค่อย ๆ เปิดจุกแล้วเติมกรดเข้มข้นลงทันที 2 มล.ให้กรดไหลลงไปตามคอขวด

5. ปิดจุกค่อยๆ เขย่าจนกระทั่งตะกอนละลายหมด

6. ตวงสารละลายที่ได้ 203 มล. ใส่ลงในฟลาสขนาด 500 มล. (ปริมาตรจำนวนนี้จะแทนปริมาตรของน้ำตัวอย่างจริงๆ 200 มล. เนื่องจากปริมาตรของตัวอย่างน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำยาทั้งหมด 4 มล. ที่เติมลงไปในขวดขนาด 300 มล. ดังนั้นปริมาตรที่จะนำมาเพื่อไตเตรทจึงควรเป็น $\frac{200x300}{(300-4)} = 203ml$

7. ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัลจนได้สีเหลืองอ่อน

8. เติมน้ำแป้ง 1-2 มล. และไตเตรทจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป

<u>การคำนวณ</u>

ออกซิเจนละลาย (DO)

1 ml 0.025 N $Na_2S_2O_3$ = 1ml/ DO (ในน้ำตัวอย่าง 200 ml)

BOD_5 (mg/l) = $(D_1 - D_2)/ P$

1.4 ค่า Chemical Oxygen Demand โดยวิธี Dichromate Reflux Method (APHA, AWWA and WEF, 1992)

<u>เครื่องมือ</u>

1. Reflux apparatus ประกอบด้วยขวดขนาด 250 มล. ซึ่งมีคอที่ทำด้วย ground glass 24/40 และ condenser 300 mm Jacket liebig ซึ่งมีข้อต่อทำด้วย ground glass 24/40

2. Hot Plate

3. บุเรตขนาด 50 มิลลิลิตร

<u>สารละลายที่ใช้</u>

1. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.25 นอร์มัล ละลาย $K_2Cr_2O_7$ 12.259 กรัม (อบแห้งที่ 103 °ซ เป็นเวลา 2 ชม.) ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 1 ลิตร (ถ้าจำเป็นให้เติมกรดซัลฟามิก 120 มก. เพื่อกำจัดการขัดขวางการหาเนื่องจาก NO_2)

2. สารละลายกรดซัลฟูริค เติม Ag_2SO_4 22 กรัม ลงในขวดกรดซัลฟูริคเข้มข้น ขนาด 9 ปอนด์ หรือ 4 กิโลกรัม ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ละลาย

3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ละลาย $(NH_4)_26H_2O$ 39 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้น 20 มล. ลงไป ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร

การหานอร์มัลมาตรฐานของเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต

ดูดสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมตมา 10 มล. โดยใช้ปิเปต เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล.เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้น 30 มล. ทิ้งให้เย็นไตเตรทด้วยสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

$$\text{Normality} = \frac{\text{ml.}K_2Cr_2O_7 \text{ X } 0.25}{\text{ml.}Fe(NH_4)_2(H_2SO_4)_2}$$

4. สารละลายเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ ละลายฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต (1-10 phenanthroline - monohydrate) 1.485 กรัม และ $FeSO_4$ $7H_2O$ 695 มก. ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล.

5. เงินซัลเฟต ($AgSO_4$) เป็นผง

6. เมอร์คิวรีซัลเฟต ($HgSO_4$) เป็นผง

วิธีการ

1. ดูดตัวอย่างในปริมาตร 20 มล. และปรับปริมาตร น้ำหนักและนอร์มัลลิตี้ของน้ำยาเคมีโดยดูจากตารางผนวก 23 เพื่อหาอัตราส่วนของตัวอย่างกับน้ำยาเคมีที่จะเติม

2. เติมเมอร์คิวรี (II) ซัลเฟต ($HgSO_4$) ตามอัตราส่วนที่กำหนดในตารางผนวก และใส่ลูกแก้ว (Glass Beads) และสารละลายกรดซัลฟูริค ควรเติมกรดช้าๆ เขย่าเพื่อละลายเมอร์คิวรี (II) ซัลเฟต

3. เติมสารละลายโปรแตสเซียมไดโครเมตมาตราฐานตามปริมาตรที่กำหนดในตารางผนวก 24 และผสมอีกครั้ง สวมขวดรีฟลักเข้ากับเครื่องคอนเดนเซอร์ เปิดน้ำให้ไหลผ่านคอนเดนเซอร์ ก่อนเปิดเครื่องให้ความร้อน

4. ทำการรีฟลักของผสมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น แล้วใช้น้ำกลั่นฉีดล้างคอนเดนเซอร์

5. เจือจางของผสมในขวดด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 2 เท่า ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ไตเตรทไดโครเมทที่เกินพอด้วยสารละลายมาตราฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ใช้เฟอร์โรอิน 2-3 หยด (0.1-0.15 มล.) เป็นอินดิเคเตอร์ ควรให้ปริมาตรของอินดิเคเตอร์ที่ใช้คงที่ทุกครั้ง ถือเอาจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีน้ำเงิน-เขียวเป็นสีน้ำตาลแดงทันทีเป็นจุดยุติ ถึงแม้ว่าเมื่อตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที สีน้ำเงิน-เขียวจะกลับคืนมาก็ตาม

6. ทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นในปริมาตรที่เท่ากับตัวอย่าง ทำการรีฟลักเหมือนตัวอย่างทุกประการรวมทั้งน้ำยาเคมีที่ใช้ด้วย

การคำนวณ

$$\text{mg / l COD} = \frac{(a-b)Nx8{,}000}{ml.sample}$$

เมื่อ COD = ค่า Chemical Oxygen Demand จากไดโครเมท

a = มล. ของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$) ที่ใช้ในการไตเตรทแบลงค์

b = มล.ของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง

N = นอร์มัลลิตี้ของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้

ตารางผนวก 24 น้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำยาเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่างต่างๆ

Sample Size	0.25 N Standard Dicromate (ml)	Conc.H_2SO_4 with Ag_2SO_4 (ml)	$HgSO_4$ (g)	Normality of $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$	Final Volume before Titration (ml)
10.0	5.0	15	0.2	0.05	70
20.0	10.0	30	0.4	0.10	140
30.0	15.0	45	0.6	0.15	21
40.0	20.0	60	0.8	0.20	280
50.0	25.0	75	1.0	0.25	350

1.5 **ของแข็งแขวนลอย** (Suspended Solids : SS) โดยวิธี Grivimetric Method (APHA, AWWA and WEF, 1992)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระดาษกรองใยแก้ว
2. กรวยกรองบุคเนอร์ (Bucher Funnel)
3. เครื่องดูดอากาศ (Suction Pump)
4. ตู้อบ (Drying Oven)
5. เครื่องชั่งละเอียด

วิธีการ

1. อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ ประมาณ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในดิสเคเตอร์ชั่งน้ำหนัก

2. เลือกปริมาณน้ำตัวอย่าง ที่ให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่น้อยกว่า 2.5 มก.

3. วางกระดาษกรองลงบนกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ แล้วใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกเพื่อให้ติดแน่นกับกรวยบุคเนอร์

4. กรองน้ำตัวอย่างโดยเปิดเครื่องดูดสูญญากาศ แล้วใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่ข้างกรวยจนหมด

5. ปิดเครื่องดูดสูญญากาศ คีบกระดาษกรอง แล้งวางบนภาชนะที่ทนความร้อน นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ ในตู้อบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

6. นำไปใส่ในเดสิเคเตอร์แล้วปล่อยให้เย็นจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง ชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

การคำนวณ

ของแข็งแขวนลอย (mg/l) = ((A-B))x 1000/ ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มล.)

โดยที่ A = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนการวิเคราะห์ (มก.)

B = น้ำหนักกระดาษกรองหลังการวิเคราะห์ (มก.)

1.6 **สารลดแรงตึงผิว** (Surfactant) โดยวิธีเมทิลีนบูล (APHA, AWWA and WEF, 1992)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. สเปกโตโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่มีช่วงความยาวคลื่น 652 นาโนเมตรและใช้เซลล์ที่มีช่องแสงผ่านกว้าง 1 ซม.

2. กรวยสำหรับแยก (Separate Funel) ขนาด 500 มล.

สารละลายที่ใช้

1. สารละลายสต๊อกเซอร์แฟกแตนท์ (ในการทดลองนี้ใช้โซเดียมโดดีซิลเบนซีนซัลฟอเนต เป็นสารละลายมาตราฐาน) ละลายสารมาตราฐานเซอร์แฟกแตนท์ 1.00 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มล.

2. สารละลายมาตราฐานเซอร์แฟกแตนท์ นำสารละลายเซอร์แฟกแตนท์ 10 มล. ทำให้เจือจางเป็น 1,000 มล.ด้วยน้ำกลั่น 1 มล. ของสารละลายนี้เท่ากับ 10 ไมโครกรัม

3. สารละลายฟีนอฟทาลีน

4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล

5. สารละลายกรดซัลฟูริค 1 นอร์มัล

6. คลอโรฟอร์ม ($CHCl_3$)

7. Methylene Blue Reagent ละลายเมทิลีนบูล 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มล. นำสารละลายเมทิลีนบูลที่ได้ 30 มล. ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร เติมน้ำกลั่น 500 มล. กรดซัลฟูริค 6 นอร์มัล 41 มล. และโมโนโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตโมโนไฮเดรท ($NaH_2PO_4.H_2O$) 50 กรัม เขย่าให้ละลาย แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มล. ด้วยน้ำกลั่น

8. Wash Solution เติมกรดซัลฟูริค 6 นอร์มัล 41 มล. ในน้ำกลั่น 500 มล. เติมโมโนโซเดียมไดไฮโดรฟอสเฟตโมโนไฮเดรท 50 กรัม เขย่าจนละลาย แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มล.ด้วยน้ำกลั่น

<u>วิธีการ</u>

1. การสร้างกราฟมาตราฐาน

1.1 เตรียมกราฟมาตราฐาน โดยเติมสารละลายมาตราฐานเซอร์แฟกแตนท์ ปริมาตร 0.00, 1.00, 3.00, 5.00, 7.00, 9.00, 11.00, 13.00, 15.00 และ 20.00 มล. ลงในกรวยแยก

1.2 เติมน้ำกลั่นลงในแต่ละกรวยแยกจนครบ 100 มล.

1.3 สกัดและทำให้เกิดสีตามข้อ 2.2

1.4 วัดค่า Absorbance ตามข้อ 2.3

1.5 สร้างกราฟมาตราฐาน โดยใช้ค่า Absorbance บนแกนตั้ง และค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตราฐานบนแกนนอน

2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.1 การเลือกขนาดตัวอย่างน้ำ เลือกปริมาตรของตัวอย่างน้ำตามความเข้มข้นที่คาดว่าจะมี ดูตารางผนวก 25

ตารางผนวก 25 การเลือกขนาดตัวอย่างน้ำสำหรับการวิเคราะห์สารลดแรงตึงผิว

ความเข้มข้น (มก. / ล.)	ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)
0.025 - 0.080	400
0.08 - 0.40	250
0.4 - 2.0	100
2 - 10	20
10 - 100	2

ในกรณีที่ใช้ตัวอย่างน้ำน้อยกว่า 100 มล. ให้เติมน้ำกลั่นจนครบ 100 มล. แต่ถ้าต้องใช้ตัวอย่างน้ำมากกว่า 100 มล. หรือมากกว่า ให้ใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำทิ้งตามตารางข้างบน

2.2 การทำให้เกิดสีและการสกัด (Extraction and Color Development)

2.2.1 ใส่ตัวอย่างน้ำที่ต้องการลงในกรวยแยก หยดฟีนอฟทาลีนลงไป ถ้าไม่มีสีชมพูเกิดขึ้นให้เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัลจนเกิดสีชมพู และเติมกรดซัลฟูริค 1 นอร์มัลจนสีชมพูหายไป

2.2.2 เติมคลอโรฟอร์ม 10 มล. และ Methylene Blue Reagent 25 มล. เขย่ากรวยแรงๆ ประมาณ 30 วินาที ตั้งทิ้งไว้จนแยกชั้น ปล่อยชั้นของคลอโรฟอร์มลงในกรวยแยกอีกอันหนึ่ง โดยกรองผ่านใยแก้ว ใช้คลอโรฟอร์มปริมาณเล็กน้อยล้างก้านกรวยแยก ทำการสกัดเช่นนี้อีก 2 ครั้ง โดยใช้คลอโรฟอร์มครั้งละ 10 มล. (ถ้าสีน้ำเงินในชั้นน้ำจางลงมากให้เติม Methylene Blue Reagent อีก 25 มล.)

2.2.3 นำเอาชั้นคลอโรฟอร์มที่รวมไว้ในกรวยแยกใบที่สอง มาเติมสารละลาย Wash Solution 50 มล. เขย่าแรงๆ เป็นเวลา 30 วินาที ตั้งทิ้งไว้จนแยกชั้น ปล่อยชั้นของคลอโรฟอร์มโดยกรองผ่านใยแก้วลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. สกัด Wash Solution ด้วยคลอโรฟอร์มครั้งละ 10 มล.อีก 2 ครั้ง ล้างใยแก้วและกรวยด้วยคลอโรฟอร์มเล็กน้อยลงในขวดใบเดิม เติมคลอโรฟอร์มจนครบ 100 มล.

2.3 การวัดค่า Absorbance โดยใช้สเปกโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 652 นาโนเมตร ใช้คลอโรฟอร์มเป็นแบลงค์ นำค่าAbsorbance ที่อ่านได้ไปหาค่าเซอร์แฟกแตนท์จากกราฟมาตรา-ฐาน

การคำนวณ

ปริมาณสารซักฟอก มก. / ล. ในรูปของ MBAS = ไมโครกรัม LAS (ใน 100 มล.) / ตัวอย่าง (มล.)

หมายเหตุ MBAS คือ ปริมาณที่ให้สีน้ำเงินกับเมทิลีนบูลทั้งหมด (Methylene Blue Active Substance)

1.7 Total Kjeldahl Nitrogen โดยวิธี Kjeldahl Method (APHA, AWWA and WEF, 1992)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือสำหรับการย่อยสลาย ประกอบด้วย Kjeldahl flask ขนาด 800 มล. มี Heating Device ซึ่งสามารถทำให้น้ำกลั่น 250 มล.เดือดได้ภายใน 5 นาที และให้อุณหภูมิระหว่าง 344 - 371 °ซ

2. เครื่องมือสำหรับทำการกลั่น เหมือนการทำการกลั่นหาแอมโมเนีย

3. บุเรตขนาด 25 มล.

สารละลาย

1. Digestion Solution ละลาย K_2SO_4 134 กรัม ในน้ำกลั่น 650 มล. เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้น 200 มล. แล้วละลาย Red Mercury (II) Oxide. H_2O 2 กรัม ในกรดซัลฟูริค 6 นอร์มัล 25 มล. แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มล. เก็บที่อุณหภูมิสูงกว่า 14 °ซ เพื่อป้องกันการตกผลึก

2. Sodium Hydroxide - Sodium Thiosulfate Reagent ละลาย NaOH 500 กรัม และ $Na_2S_2O_3.5\ H_2O$ 25 กรัม ในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1,000 มล.

3. สารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ เหมือนในการหาแอมโมเนีย

4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล

วิธีการ

1. ใส่น้ำตัวอย่าง 300 มล. ลงใน Kjeldahl flask ขนาด 800 มล. เติมลูกแก้วลงไปประมาณ 3-4 เม็ด ทำให้สะเทินจนพีเอชเป็น 7.0

2. เติม Digestion Solution 50 มล. ลงในแต่ละขวด แล้วนำไปเข้าเครื่องย่อยสลายซึ่งอยู่ในตู้ควัน ต้มจนกระทั่งเกิดควันของ SO_3 ต้มต่อไปจนได้สารละลายใส ให้ทำการย่อยสลายอีก 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นลงไป 300 มล.

3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไธโอซัลเฟต 50 มล. ลงไปต่อขวดเข้ากับเครื่องกลั่น

4. การกลั่น กลั่นและเก็บส่วนที่กลั่นออกมา 200 มล. ภายใต้ผิวของสารละลายอินดิเคเตอร์ในกรดบอริค 50 มล.

5. นำส่วนที่กลั่นได้ตั้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปไตเตรทกับสารละลายมาตราฐานกรดซัลฟูริค 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งสารละลายอินดิเคเตอร์ในกรดบอริคเปลี่ยนเป็นสีม่วงอ่อน

6. ทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นและทำทุกขั้นตอนเหมือนใช้ตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{mg/l Organic N} = \frac{(D-E)x280}{ml.sample}$$

เมื่อ D = มล.ของกรดซัลฟูริคที่ใช้ในการติเตรทตัวอย่าง

E = มล.ของกรดซัลฟูริคที่ใช้ในการติเตรทแบลงค์

1.8 Total Phosphorus โดยวิธี Colormetric Method (Ascorbic Method) (APHA, AWWA and WEF, 1992)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เตาไฟฟ้า (Hot Plate)

2. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) พร้อมด้วย Infrared phototube สำหรับใช้ที่ 880 นาโนเมตร โดยใช้ Light path 1 ซม.

3. เครื่องแก้วล้างด้วยกรด (Acid-Washed Glassware)

สารละลาย

1. สารละลายกรดซัลฟูริค 5 นอร์มัล เติม Conc. H_2SO_4 70 มล. ลงในน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนได้ปริมาตร 500 มล.

2. สารละลายกรดซัลฟูริค 11 นอร์มัล เติม Conc. H_2SO_4 310 มล. ลงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรจนได้ 1 ลิตร

3. สารละลายแอนติโมนีโปตัสเซียมทาเทรท ละลาย K (SbO) $C_4H_4O_6.H_2O$ ในน้ำกลั่น 200 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 500 มล.

4. สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดท ละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ ในน้ำกลั่น 500 มล. เก็บในขวดพลาสติกที่ 4 °ซ

5. แอสคอบิคแอซิด 0.1 นอร์มัล ละลายแอสคอบิคแอซิด 1.76 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มล. สารละลายนี้จะอยู่ตัวได้ประมาณ 1 อาทิตย์ ถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ

6. น้ำยารวม (Combined Reagent) ผสมน้ำยาข้างบนในสัดส่วนสำหรับ 100 มล. น้ำยารวมดังนี้ สารละลายกรดซัลฟูริค 5 นอร์มัล 50 มล. สารละลายแอนติโมนีโปตัสเซียมทาเทรท 5 มล. สารละลายแอมโมเนียมโมลิเดท 15 มล. และสารละลายกรดแอสคอบิค 30 มล. ตั้งน้ำยาเคมีเหล่านี้ทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิห้องจึงจะผสมกัน น้ำยานี้อยู่ตัวได้ 4 ชม.

7. สารละลายสต๊อกฟอสเฟต ละลาย KH_2PO_4 (anhydrous) 219.5 มก. ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรจนได้ปริมาตร 1 ลิตร 1 มล.ของสารละลายนี้เท่ากับ 50.0 ไมโครกรัมฟอสฟอรัส

8. สารละลายมาตราฐานฟอสเฟต นำสารละลายสต๊อกฟอสเฟตมา 50 มล. เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร 1 มล.ของสารละลายนี้เท่ากับ 2.5 ไมโครกรัม

<u>วิธีการ</u>

1. ดูดตัวอย่าง 50 มล.ลงในบิกเกอร์

2. เติมสารละลายกรดซัลฟูริค 11 นอร์มัล 1 มล.และ Ammonium Persulfate 0.4 กรัม

3. นำไประเหยบนเตาไฟฟ้าประมาณ 30 นาทีหรือให้ตัวอย่างเหลือประมาณ 10 มล. แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4. เติมน้ำกลั่นลงไป 20 มล. ปรับพีเอชให้เป็น 7 ±0.2 (ถ้าตัวอย่างไม่ใสให้เติมสารละลายกรดซัลฟูริค 11 นอร์มัลลงไป 2-3 หยด)

5. กรองตัวอย่างแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มล.

6. เติมน้ำยารวมลงไป 8.0 มล. ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที

7. นำไปวัดค่าแอบซอบแบนซ์ โดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 650 หรือ 880 นาโนเมตร

8. การเตรียม Calibration Curve โดยปิเปตสารละลายมาตราฐานฟอสเฟต (2.5 ไมโครกรัมฟอสฟอรัสต่อมล.) 0, 2, 6, 10, 16, 24 มล. ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มล. เติมน้ำจนถึงขีดที่กำหนดบนขวด เขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 0, 5, 15, 25, 40, 60 ไมโครกรัมฟอสฟอรัส หรือ 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1.2 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ใช้อันที่มีความเข้มข้น 0 เป็นแบลงค์ พล็อตค่าแอบซอบแบนซ์กับความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (เป็นไมโครกรัม) จะได้เป็นเส้นตรงผ่านจุดเริ่มต้น

<u>การคำนวณ</u>

$$\text{mg/l P} = \frac{mg.Px1000}{ml.sample}$$

2. **การวิเคราะห์ตัวอย่างทางแบคทีเรีย** โดยวิธี MPN (Most Probable Number, MPN or Multiple Tube Technique) (APHA, AWWA and WEF, 1992)

การตรวจหาโคลิฟอร์มแบคทีเรียและฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. Incubator ตู้อบเพาะเชื้อ
2. Autoclaves
3. ปิเปตขนาด 10 มล. และ 1 มล.พร้อมกล่องใส่ปิเปต
4. Fermentation Tubes and Vial
5. ขวดเก็บตัวอย่าง
6. ตะเกียงแอลกอฮอล์หรือตะเกียงแก๊ส

<u>สารละลายที่ใช้</u>

1. อาหารเหลวแลคโทสบรอธ (Lactose Broth) ละลายแลคโทสบรอธ 37.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

2. อาหารบริลเลียนกรีนแลคโตสไบล์บรอธ (Brilliant Green Lactose Bile Broth)ละลายบริล-เลียนกรีนแลคโตสไบล์บรอธ 40 กรัม ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

3. อาหารเหลวอีซีมีเดียม (EC Medium) ละลายอีซีมีเดียม 37 กรัม ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

<u>วิธีการ</u>

เลือกระบบหลอดเลี้ยงเชื้อ โดยทั่วไปนิยมใช้ 2 ระบบ คือระบบ 3 และ 5 หลอด

1. การตรวจสอบขั้นแรก (Presumtive Test)

1.1 นำหลอดแก้วที่บรรจุอาหารเหลวแลคโตสบรอธอยู่ท่วมหลอด Vial ไปอบในAutoclave เพื่อฆ่าเชื้อ

1.2 ถ่ายปริมาตรที่ทราบของตัวอย่างน้ำลงในอนุกรมของ Fermentation Tube ที่บรรจุอาหารเหลวแลคโตสบรอท เขย่าหลอด แล้วนำไป Incubate ที่ 35±0.5°ซ เป็นเวลา 24 - 48 ชม. จำนวนของหลอดที่ให้ผลบวก (คือเกิดก๊าซเกิน 10 %) ของแต่ละการเจือจาง หลอดที่ไม่เกิดก๊าซจะให้ผลลบ

1.3 นำหลอดที่ให้ผลบวกไปทดสอบขั้นยืนยันต่อไป

2. การตรวจสอบขั้นยืนยัน (Confirmed Test)

2.1 เลือกเอาหลอดที่เกิดก๊าซมาตรวจสอบขั้นยืนยัน โดยเขย่าหลอดที่ให้ผลบวกเบาๆ แล้วเอาลวดที่มีปลายห่วงกลมที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว (โดยเผาไฟให้แดงแล้วทิ้งให้เย็นสักครู่) จุ่มลงในหลอดที่ให้ผลบวก จะมีน้ำติดอยู่เต็มห่วง แล้วนำไปจุ่มในหลอดบริลเลียนกรีนแลคโตสไบล์บรอท เขย่าหลอดเบาๆ

2.2 นำหลอดที่ถ่ายเชื้อใหม่ไป Incubate ที่อุณหภูมิ 35±0.5 °ซ เป็นเวลา 24 - 48 ชม.

2.3 เมื่อครบ 24 ถึง 48±3 ชม. นำหลอดมาตรวจดูว่าหลอดใดให้ผลบวก จดบันทึกไว้ นำ แล้วนำไปอ่านค่า MPN Index ได้จากตารางใน Standard Method (APHA, AWWA and WEF, 1992) ซึ่งจะบอกถึงจำนวน Coliform ที่มีในน้ำ 100 มล.

<u>การตรวจหาฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย</u> (Faecal Coliform Test)

1. ถ่ายตัวอย่างน้ำจากหลอดที่มีกาซหรือกลุ่มแบคทีเรียในขั้นทดสอบลงในหลอดอีซีมีเดียม ที่มีหลอดดูแรมสำหรับเก็บก๊าซ (ให้เขย่าหลอดจากขั้นทดสอบเบาๆ ก่อนหรือผสมโดยการหมุนหลอด) โดยใช้ลวดที่มีปลายห่วงกลมที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

2. เมื่อเติมเชื้อเรียบร้อยให้นำไปอินคิวเบทในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 44.5 ± 0.2°ซ 24±2 ชั่วโมง ให้ใส่หลอดอีซีทั้งหมดในอ่างน้ำร้อนภายในเวลา 30 นาทีหลังจากเติมเชื้อแล้ว ถ้ามีก๊าซเกิดขึ้นในหลอดภายใน 24 ชั่วโมงหรือน้อยกว่านั้น ให้ถือว่าให้ผลบวก แสดงว่าเป็น Faecal Coliform

3. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1 สารละลายสารส้มมาตราฐาน (100 มก./มล.)

สารส้มเป็นสารส้มที่มีขายตามท้องตลาด ทำได้โดยละลายสารส้ม $Al(SO_4)_3$. H_2O 100 กรัม ในน้ำกลั่น 0.8 ลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

3.2 สารละลายโพลิเมอร์ประจุบวก (1 มก./มล.)

สารโพลิเมอร์ประจุบวกเป็นของ Best Floc KS 36C lot.410.121 ทำได้โดยละลายสารโพลิเมอร์ 1 กรัม ในน้ำกลั่น 0.8 ลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

3.3 สารละลายโพลิเมอร์ประจุลบ (0.5 มก./มล.)

สารโพลิเมอร์ประจุลบเป็นของ Best Floc KS 320A lot.603151 ทำได้โดยละลายสารโพลิ-เมอร์ 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น 0.8 ลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

ผลการวิเคราะห์ขนาดของทรายกรองและแอนทราไซท์

ตารางผนวก 26 ผลการวิเคราะห์ขนาดของทรายกรองด้วยตะแกรง

ตะแกรงเบอร์	ขนาดรูตะแกรง (มม.)	น้ำหนักของทรายที่ค้างบนตะแกรง		เปอร์เซ็นต์สะสมของทราย ที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรง
		กรัม	เปอร์เซ็นต์	
100	0.149	2	0.4	0.4
50	0.297	49	9.8	10.2
30	0.590	220	44	54.2
20	0.840	216	43.2	97.4
16	1.190	13	2.6	100
8	2.830	0	0	100

ตารางผนวก 27 ผลการวิเคราะห์ขนาดของแอนทราไซท์ด้วยตะแกรง

ตะแกรงเบอร์	ขนาดรูตะแกรง (มม.)	น้ำหนักของแอนทราไซท์ที่ค้างบนตะแกรง		เปอร์เซ็นต์สะสมของแอนทราไซท์ ที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรง
		กรัม	เปอร์เซ็นต์	
50	0.297	0	0	0
25	0.590	4	1.54	1.54
20	0.840	17	6.54	8.08
16	1.190	118	45.38	53.46
12	1.680	115	44.23	97.69
8	2.830	6	2.31	100

แบบสอบถาม

เลขที่.....

ผู้สำรวจ.....

แบบสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับกิจกรรมซักรีด

1. พื้นที่สำรวจ บ้านเลขที่.....ถนน.....

2. ข้อมูลลักษณะของกิจกรรม

2.1 ประเภทของกิจกรรม

◯ ร้านบริการซักรีด ◯ ร้านซักแห้ง

◯ การซักรีดในโรงพยาบาล ขนาด.....เตียง

◯ การซักรีดในโรงแรม ขนาด.....ห้อง ◯ อื่น ๆ ระบุ.....

2.2 วิธีดำเนินการซักผ้า

◯ ใช้เครื่องแบบอัตโนมัติ ขนาดความจุ.....ก.ก. จำนวนเครื่อง.....ตู้

◯ ใช้เครื่องแบบไม่อัตโนมัติ ขนาดความจุ.....ก.ก. จำนวนเครื่อง.....ตู้

◯ ใช้มือ

2.3 ขั้นตอนของการซักผ้า

2.3.1 กรณีซักผ้าด้วยมือ

- ซักด้วยสารซักฟอก จำนวน.....กรัม/กะละมัง แต่ละครั้งใช้น้ำ.....ลิตร ซักผ้า.....กะละมัง/วัน
- ล้างน้ำเปล่า จำนวน.....ครั้ง โดยใช้น้ำในแต่ละครั้งประมาณ.....ลิตร (ถามถึงขนาดของกะละมังแล้วเปรียบเทียบ)
- ล้างและผสมสารให้กลิ่นหอมหรือปรับผ้านุ่ม จำนวน.....ม.ล. ต่อน้ำใช้ในแต่ละครั้ง.....ลิตร

2.3.2 กรณีซักด้วยเครื่อง

- ซักด้วยสารซักฟอก จำนวน.....กรัม/ตู้ ต่อน้ำใช้.....ลิตร แต่ละตู้ใช้ซักผ้า.....ครั้ง/วัน
- ล้างน้ำเปล่า จำนวน.....ครั้ง/ตู้ โดยใช้น้ำในแต่ละครั้งประมาณ.....ลิตร
- ล้างและผสมสารให้กลิ่นหอมหรือปรับผ้านุ่ม จำนวน.....ม.ล. ต่อน้ำใช้ในแต่ละครั้ง.....ลิตร

2.4 ปริมาณผ้าที่ซักเฉลี่ยต่อวัน.....ก.ก.

2.5 ประเภทของผ้าที่ซัก

1 ..... 2 .....

3 ..... 4 .....

5 ..... 6 .....

2.6 น้ำที่ใช้ซักผ้า

◯ น้ำประปา ◯ น้ำบาดาล ◯ น้ำบ่อตื้น

(3.) การใช้สารซักฟอก

3.1 ลักษณะของสารซักฟอก (โปรดระบุ ชนิดน้ำหรือผง ยี่ห้อ ส่วนผสม เช่น ผสม Zeolile)

1 .....

2 .....

3.2 ปริมาณสารซักฟอกที่ใช้ซักผ้าต่อตู้.....กรัม / ต่อวัน.....ก.ก.

(หรือถามเป็นตามขนาดของกล่องก็ได้)

3.3 ในกิจกรรมซักรีดของท่านใช้สารผสมอย่างอื่นอีกหรือไม่

◯ ใช้ ระบุ.....

(น้ำยาปรับผ้านุ่ม, สารฟอกขาว, คลอรีน, น้ำยาซักแห้ง ฯลฯ)

◯ ไม่ใช้

(4.) การบำบัดน้ำทิ้ง

4.1 น้ำทิ้งจากกิจกรรมซักรีด ท่านทำอย่างไร?

◯ ปล่อยทิ้งลงคูระบายน้ำสาธารณะ

◯ ปล่อยทิ้งในที่ดินว่างเปล่า

◯ ปล่อยลงในระบบบำบัดน้ำเสีย แบบ.....(หลุมซึม, ถังเกรอะ)

4.2 ท่านเคยนำน้ำซักผ้าโดยเฉพาะน้ำที่ได้จากการนำน้ำล้างมาใช้หมุนเวียนใหม่หรือไม่

◯ มี โดยนำไปใช้ในกิจกรรม ระบุ..... ◯ ไม่มี

4.3 มีการประหยัดน้ำในกิจกรรมซักรีดหรือไม่

◯ มี ทำโดย ระบุ..... ◯ ไม่มี

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายวรายุส วรรณวิไล

วัน เดือน ปี เกิด 22 พฤษภาคม 2511

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
สาธารณสุขศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช	2535

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

ทุนในการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่