

การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้าน
ด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม

กรรชิต ชูดีไพศาล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม)
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้าน
ด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม

.....

นายครรชิต ชูดีไพศาล

ผู้วิจัย

.....

รองศาสตราจารย์อุษณีย์ อุยะเสถียร, วศ.ม.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วินัย นุตมากุล, Ph.D.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

ศาสตราจารย์บรรจง มไหสวริยะ,

พ.บ., ว.ว. ออร์โทปิดิกส์

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เบญจกรณ์ ประภักดี, Ph.D.

ประธานคณะกรรมการประจำหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบาน
ด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม)

วันที่ 18 เมษายน พ.ศ 2554

.....

นายครรชิต ชูดีไพศาล

ผู้วิจัย

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชลอ จารุสุทธิรักษ์, Ph.D.

ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วินัย นุตมากุล, Ph.D.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

รองศาสตราจารย์อุษณีย์ อุยะเสถียร, วศ.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

ศาสตราจารย์บรรจง มไหสวริยะ,

พ.บ., ว.ว. ออร์โทปิดิกส์

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิพงษ์ คิลกวนิช, Ph.D.

คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือในการให้คำปรึกษาตลอดจนให้ข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์อย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์อุษณีย์ อุยะเสถียร ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย นุตมากุล ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชลอ จารุสุทธีรักษ์ ที่ให้ความกรุณามาเป็นประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ เบญจภรณ์ ประภักดี ที่ได้ให้คำแนะนำและคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ของบริษัท อี-สแควร์ สิ่งแวดล้อมและวิศวกรรม จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในการให้ใช้สถานที่และอุปกรณ์ต่างๆในการดำเนินการวิจัย

ครรชิต ชูดีไพศาล

การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้านด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม

IMPROVEMENT OF TREATMENT EFFICIENCY OF ORGANIC MATTERS IN WASTEWATER FROM PAINT INDUSTRY BY ADDING POWDERED ACTIVATED CARBON IN FIXED FILM AERATION PROCESS.

กรรชิต ชูดีไพศาล 4936951 ENTM/M

วท.ม. (เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อุษณีย์ อุษะเสถียร, วศ.ม., วินัย นุตมากุล, Ph.D.

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของผงถ่านกัมมันต์ที่เติมลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้น้ำเสียจริงที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวมีค่าซีไออยู่ในช่วง 673 – 1,383 มก./ล. และผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้มีค่า iodine number 950

ผลจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ 0 และ 4000 มก./ล. ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มของการทดลองที่ 1 ที่เวลากักน้ำ 48 ชม. อายุตะกอน 30 วัน พบว่าสามารถกำจัดซีไอได้เท่ากับ 76.6 ± 4.4 และ 82.3 ± 3.0 % ตามลำดับ มีค่าซีไอของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 979.3 ± 217.3 มก./ล. และมีค่าซีไอของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วเท่ากับ 221.6 ± 28.1 และ 168.3 ± 22.0 มก./ล. ตามลำดับ สามารถกำจัดซีไอเพิ่มขึ้นจากระบบที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 5.7 ± 2.1 % และผลจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ 0, 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มของการทดลองที่ 2 ที่เวลากักน้ำ 48 ชม. อายุตะกอน 30 วัน พบว่าสามารถกำจัดซีไอได้เท่ากับ 72.8 ± 7.5, 75.9, 78.4, 79.0 และ 83.6 % ตามลำดับ ค่าซีไอของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 942.1 ± 136.6 , 935.2, 807.0, 816.0 และ 891.0 มก./ล. ตามลำดับ และมีค่าซีไอในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วเท่ากับ 253.6 ± 67.6 , 215.0, 174.0, 171.0 และ 146.0 มก./ล. ตามลำดับ สามารถกำจัดซีไอเพิ่มขึ้นจากระบบที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 3.1, 5.6, 6.2 และ 10.8 % ตามลำดับ และสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ผงถ่านกัมมันต์เพิ่มในกระบวนการดูดซับธรรมชาติต่อการบำบัดทางชีวภาพ ในการกำจัดซีไอในน้ำทิ้งให้มีค่าตามมาตรฐาน

คำสำคัญ : น้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้าน / ผงถ่านกัมมันต์ / ระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม

IMPROVEMENT OF TREATMENT EFFICIENCY OF ORGANIC MATTERS IN WASTEWATER FROM PAINT INDUSTRY BY ADDING POWDERED ACTIVATED CARBON IN FIXED FILM AERATION PROCESS.

KANCHIT CHUTIPAISAN 4936951 ENTM/M

M.Sc.(TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT)

THESIS ADVISORY COMMITTEE: USANEE UYASATIAN, M.Eng., WINAI NUTMAGUL, Ph.D.

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the effect of adding powdered activated carbon to fixed film aeration process on the wastewater treatment efficiency. The wastewater used was effluent from paint factory's chemical treatment process. Their COD values were in the range of 673-1,383 mg/l. The powdered activated carbon used had the iodine number of 950.

The results of adding powdered activated carbon at the dosage of 0 and 4000 mg/l to fixed film aeration process with the hydraulic retention time of 48 hours and the sludge retention time of 30 days of the first experiment, showed that COD could be removed by 76.6 ± 4.4 and $82.3 \pm 3.0\%$, respectively. The influent COD was 979.3 ± 217.3 mg/l, and the effluent COD were 221.6 ± 28.1 and 168.3 ± 22.0 mg/l, respectively. Powdered activated carbon could enhance the COD removal by $5.7 \pm 2.1\%$. In the second experiment of the fixed film aeration process at the same hydraulic retention time and the sludge age, it was found that with the dosage of powdered activated carbon at 0, 4000, 4500, 5000, and 5500 mg/l, COD could be removed by 72.8 ± 7.5 , 75.9 , 78.4 , 79.0 , and 83.6% , respectively. The influent COD were 942.1 ± 136.6 , 935.2 , 807.0 , 816.0 , and 891.0 mg/l, respectively, and the effluent COD were 253.6 ± 67.6 , 215.0 , 174.0 , 171.0 , and 146.0 mg/l, respectively. Therefore, the fixed film aeration with adding powdered activated carbon could increase COD removal by 3.1, 5.6, 6.2, and 10.8%, respectively, compared to the one without powdered activated carbon and could save the cost of powdered activated carbon in an ordinary adsorption unit after the biological treatment for removal of COD to meet the effluent standard.

KEY WORDS: WASTEWATER FROM PAINT INDUSTRY / POWDERED ACTIVATED CARBON / FIXED FILM AERATION PROCESS

137 pages

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	5
2.1 โรงงานผลิตสีทาบ้าน	5
2.1.1 องค์ประกอบของสีทาบ้าน	5
2.1.2 ขั้นตอนการผลิตสีทาบ้าน	7
2.1.3 ลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน	7
2.2 กระบวนการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์	8
2.2.1 ลักษณะทางกายภาพของผงถ่านกัมมันต์	8
2.2.2 ประเภทของการดูดซับ	9
2.2.3 ขั้นตอนของการดูดซับ	10
2.2.4 ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ	10
2.2.5 โมเดลที่แสดงการดูดซับ	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 ระบบแพคท์ (Powdered activated carbon treatment system, PACT system)	12
2.3.1 ลักษณะทั่วไป	12
2.3.2 ความสามารถในการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์และความสามารถในการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ในระบบแพคท์	14
2.3.3 ปฏิกริยาต่อกันระหว่างผงถ่านกัมมันต์และกลุ่มจุลชีพ	15
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงาน	17
2.4 ระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม (Fixed-film aeration process)	18
บทที่ 3 การดำเนินการทดลอง	20
3.1 แผนการทดลอง	20
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	21
3.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	26
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	26
3.5 พารามิเตอร์และความถี่ที่วิเคราะห์	29
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	32
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน	32
4.2 ผลการทดลองหาไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm)	33
4.3 ผลการทดลองของระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่เติมผงถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสารอินทรีย์	40
4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีไอดีของระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่เติมผงถ่านกัมมันต์	56
4.5 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเติมและไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีไอดี	59

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผลการทดลอง	62
5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม	63
บทสรุปแบบสมบูรณ์ภาษาไทย	64
บทสรุปแบบสมบูรณ์ภาษาอังกฤษ	79
รายการอ้างอิง	95
ภาคผนวก	98
ภาคผนวก ก รายการคำนวณการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลอง ขนาดระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale)	99
ภาคผนวก ข ผลการทดลองที่ 1	110
ภาคผนวก ค ผลการทดลองที่ 2	120
ภาคผนวก ง ตัวอย่างรายการคำนวณ	130
ประวัติผู้วิจัย	137

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียดิบจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน	8
2.2	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน	8
3.1	พารามิเตอร์และค่าของพารามิเตอร์ที่ต้องควบคุม	20
3.2	วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ	30
3.3	ความถี่ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดตามจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ	30
4.1	ค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านที่นำมาใช้ในการทดลอง	32
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ถูกดูดซับไปกับความเข้มข้นของสารที่เหลืออยู่ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน	34
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ถูกดูดซับไปกับความเข้มข้นของสารที่เหลืออยู่ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน	37
4.4	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียเข้าระบบน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเดิมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเดิมอากาศ 48 ชั่วโมง	41
4.5	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเดิมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเดิมอากาศ 48 ชั่วโมง	49
4.6	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่ 1 ที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเดิมอากาศ 48 ชั่วโมง	56
4.7	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่ 2 ที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเดิมอากาศ 48 ชั่วโมง	57
4.8	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการที่ต้องใช้ผงถ่านกัมมันต์เพิ่มในการดูดซับธรรมชาติเพื่อกำจัดซีโอดีในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ยังเกินค่ามาตรฐาน	60

สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	รูปตัดแสดงลักษณะรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์เปรียบเทียบกับเซลล์จุลชีพ	9
2.2	ส่วนประกอบต่างๆ ของน้ำเสีย	13
3.1	ถังเติมอากาศ (aeration tank) ภายในบรรจุตัวกลางพลาสติก	22
3.2	ถังตกตะกอน (sedimentation tank)	22
3.3	โมเดลระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย	23
3.4	องค์ประกอบระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย	25
3.5	ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้านที่นำน้ำเสียมาทำการวิจัย	26
4.1	Freundlich adsorption isotherm แสดงการดูดซับซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมี	35
4.2	Langmuir adsorption isotherm แสดงการดูดซับซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมี	36
4.3	Freundlich adsorption isotherm แสดงการดูดซับซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพ	38
4.4	Langmuir adsorption isotherm แสดงการดูดซับซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพ	39
4.5	ผลการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเติมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง	42
4.6	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเติมอากาศ ของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์เริ่มต้น 4000 มก./ล. และเติมเพิ่มอีกวันละ 50 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง	50
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเสียที่มาจากกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสีทาบ้านจะมีองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ซึ่งหมายความว่าสัดส่วนของค่าความสกปรกในรูปของบีโอดีต่อค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีมีค่าต่ำ และต้องใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียหลายขั้นตอน ซึ่งโดยทั่วไปรูปแบบการบำบัดอย่างน้อยประกอบด้วย กระบวนการบำบัดทางกายภาพ กระบวนการบำบัดทางเคมี และกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ แต่เนื่องจากน้ำเสียที่มาจากกลุ่มโรงงานผลิตสีทาบ้านมีองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบเดิมอากาศแต่เพียงอย่างเดียวอาจจะไม่เพียงพอในการบำบัดค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีให้มีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่กำหนดให้น้ำทิ้งมีค่าซีโอดีไม่เกิน 120 มก./ล ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ออกตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 อย่างต่อเนื่องได้

โดยทั่วไปสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากจะบำบัดโดยใช้กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (carbon adsorption) เพื่อดูดซับสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากดังกล่าว ซึ่งการใช้ทั้งชนิดเม็ด (granular activated carbon, GAC) และชนิดผง (powdered activated carbon, PAC) ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการลงทุนขั้นต้นและค่าใช้จ่ายในการปรับคืนสภาพถ่านกัมมันต์

การบำบัดน้ำเสียด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง เรียกว่าระบบแพคท์ (the powdered activated carbon treatment process, PACT) ได้รับการจดสิทธิบัตร (US Patent 3,904,518) โดย du Pont (Sublette และคณะ, 1982) Flynn (1974, 1975 อ้างถึงใน Sublette และ คณะ, 1982) กล่าวว่าสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้และถูกดูดซับได้ หรือ สารที่ย่อยสลายได้ช้าและถูกดูดซับได้ ระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดสารเหล่านี้ได้ด้วยประสิทธิภาพที่สูงกว่าระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งธรรมดา โดยได้ให้เหตุผลว่าการลดลงของสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้และถูกดูดซับได้ในระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์ เกิดจากการถูกดูดซับเท่านั้น ส่วนการลดลงของสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ช้าและถูกดูดซับได้ พบว่าขึ้นกับระยะเวลาสัมผัส (contact time) โดยที่ขึ้นแรก

สารเหล่านี้จะลดลงจากการถูกดูดซับ แต่ถ้ามีระยะเวลาสัมผัสเพียงพอ สารที่ถูกดูดซับเหล่านี้ถูกย่อยสลายทางชีวภาพด้วยกลไกบางอย่าง และทำให้พื้นฟูพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้อีก กลไกที่ทำให้เกิดสถานะเสริมนี้เกิดจากสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ที่ถูกดูดซับเปลี่ยนเป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ สาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาต่อกัน (interaction) ระหว่างผงถ่านกัมมันต์และกลุ่มจุลินทรีย์ โดยมีผู้ค้นคว้าปฏิกิริยาต่อกันระหว่างผงถ่านกัมมันต์และกลุ่มจุลินทรีย์ดังกล่าว เช่น Perrotti และ Rodman (1974 อ้างถึงใน Zhang และคณะ, 1991) ได้กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับการฟื้นฟูสภาพทางชีวภาพของผงถ่านกัมมันต์ โดยมีสมมุติฐานว่า การปลดปล่อยสารที่ถูกดูดซับออกมา (desorption) เกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ถูกหลั่งออกมาภายนอก (exoenzymatic reaction) แม้ว่าแบคทีเรียจะมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะเข้ามาอยู่ในรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ แต่แบคทีเรียจะมีการหลั่งเอนไซม์บางชนิดออกมา ซึ่งจะแพร่เข้าไปในรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ได้ง่ายกว่า และทำปฏิกิริยากับสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งจะได้ออกสารที่ถูกดูดซับได้ต่ำ จึงทำให้เกิดการปลดปล่อยสารที่ถูกดูดซับออกมา (desorption) นอกรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ต่อไป นอกจากนี้ Jiang และ Huang (1982 อ้างถึงใน Zhang และคณะ, 1991) ได้กล่าวว่าเอนไซม์ดังกล่าวก็สามารถถูกดูดซับได้และกระจายตัวไปในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์แบบเดียวกัน โดยปฏิกิริยาการย่อยสลาย (enzymatic reactions) ต้องการพื้นที่บางส่วนและอิสระในการเคลื่อนที่สำหรับทั้งเอนไซม์และสารอื่นที่ถูกดูดซับ เพื่อให้ปรับตัวให้พอดีกับพื้นที่ จึงแนะนำว่าหากจะให้เอนไซม์สามารถทำหน้าที่ในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ได้ดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนควรใหญ่กว่าขนาดของเอนไซม์ประมาณสามเท่า

สำหรับระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม (fixed film aeration process) ที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จากการศึกษาของ Wanner และคณะ (1988) พบว่าระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มซึ่งเป็นการบำบัดน้ำเสียร่วมระหว่างกระบวนการตะกอนเร่ง (activated sludge process) กับกระบวนการฟิล์มชีวภาพ หรือ (fixed film process) จะทำให้การจมตัวของตะกอนดีขึ้น และช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดเส้นใย และ Gebara (1999) พบว่านอกจากจะเพิ่มประสิทธิภาพในการจมตัวของตะกอนแล้ว ยังส่งผลดีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี อีกทั้งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียโดยรวมด้วย

จากเหตุผลข้างต้น การวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มเปรียบเทียบกับกรณีไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ซึ่งอาจนำผลที่ได้มาใช้ในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสีทาบ้านต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ย่อยสลายยากในน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีทาบ้านด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม เปรียบเทียบกับการไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม

2. ศึกษาค่าใช้จ่ายในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี โดยระบบที่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม เปรียบเทียบกับการไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม

1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์มอาจเกิดสถานะเสริม (synergy) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาต่อกันระหว่างผงถ่านกัมมันต์และกลุ่มจุลชีพ จึงอาจเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ย่อยสลายยากในน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการบำบัดในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์มและตามด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นการบวกกันธรรมชาติระหว่างการย่อยสลายด้วยจุลชีพและการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ถ้าเป็นจริงดังที่กล่าวจะทำให้ประหยัดค่าก่อสร้างหน่วยบำบัดในการดูดซับที่แยกออกมาต่างหาก และค่าถ่านกัมมันต์ หรือค่าใช้จ่ายในการปรับคืนสภาพถ่านกัมมันต์สำหรับกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่แยกต่างหากนั้น และอาจบำบัดค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีให้มีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory scale) มีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1. หาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดทางเคมี และค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน

2. ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ที่เติมผงถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีที่ระยะเวลาเก็บกัก 48 ชั่วโมง (เนื่องจากน้ำเสีย

ที่มาจากกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสีทาบ้านจะมีองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ระยะเวลาเก็บกักควรมากกว่าปกติ (24 ชั่วโมง) ในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้ระยะเวลาเก็บกักที่ 48 ชั่วโมง)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ทำให้ทราบถึงปริมาณการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม เพื่อบำบัดสารอินทรีย์ย่อยสลายยากด้วยกระบวนการดูดซับในระบบเติมอากาศแบบดริ้งฟิล์ม สำหรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วของโรงงานผลิตสีทาบ้าน
2. เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ย่อยสลายยากของโรงงานผลิตสีทาบ้านและโรงงานอื่นๆ ที่มีปัญหาค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีที่ยังเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ออกตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้านด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ซึ่งรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้มีดังนี้

- โรงงานผลิตสีทาบ้าน
- กระบวนการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์
- ระบบแพคท์ (PACT system)
- ระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม (fixed-film aeration process)

2.1 โรงงานผลิตสีทาบ้าน

องค์ประกอบของสีทาบ้านโดยทั่วไปมีองค์ประกอบหลักคือ ผงสี (pigment) สารยึด (binder) ตัวทำละลาย (solvents) สารเติมแต่ง (additives) ซึ่งลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นก็จะมีองค์ประกอบต่างๆเช่นเดียวกับน้ำเสียที่เกิดจากการล้างถังผสมของแต่ละขั้นตอนการผลิตสีทาบ้าน มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 องค์ประกอบของสีทาบ้าน

อรอุยา สรวารี (2544) ได้กล่าวถึง องค์ประกอบหลักของสีทาบ้าน โดยทั่วไปมีองค์ประกอบหลักประกอบด้วย

2.1.1.1 ผงสี (pigment) เป็นสารที่ให้สีและมีความสามารถในการปิดบังพื้นผิว ผงสีอาจเป็นสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ก็ได้ กล่าวคือ

1. ผงสีอนินทรีย์ (inorganic pigments) แบ่งย่อยเป็น 4 ชนิด คือ
 - earth pigments เป็นผงสีธรรมชาติ ที่ได้จากการนำเอาหินต่างๆ ไปบดล้างและทำให้แห้ง ได้แก่ ochres (ดินเหลือง) sienna (ดินเผาสีน้ำตาล) umbers (ดินสีน้ำตาลไหม้) และ green earths เป็นต้น

- mineral pigments เป็นผงสีที่ได้จากแร่ธาตุต่างๆ ได้แก่ โดโลไมต์ (dolomite) และ แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น

- พงสีอนินทรีย์สังเคราะห์ (synthetic inorganic pigments) เตรียมได้โดยวิธีตกตะกอนจากปฏิกิริยาระหว่างสารเคมี 2 สาร ทำให้เกิดเป็นผงสีตกตะกอนลงมา แล้วกรองออก ได้แก่ ทิทาเนียมไดออกไซด์ ซิงก์ออกไซด์ และอัลตรามารีน (ultramarine) เป็นต้น

- พงสีโลหะ (metallic pigments) เป็นผงสีที่ได้จากการบดโลหะให้ละเอียด เช่น พงอะลูมิเนียม พงบรอนซ์ และผงสังกะสี เป็นต้น

2. พงสีอินทรีย์ (organic pigments) แบ่งได้เป็น 3 ชนิด

- pigment dyestuffs คือ สารประกอบอินทรีย์ที่มีสีและไม่ละลายในตัวทำละลายต่างๆ

- โทเนอร์ (toner pigments หรือ toners) คือสีย้อมที่เป็นกรดหรือด่างที่ละลายน้ำได้ แต่ได้ถูกเปลี่ยนเป็นผงสีโดยการตกตะกอนด้วยเกลือโลหะหรือตกตะกอนด้วยกรด

- เลก (lake pigments หรือ lakes) คือผงสีที่เตรียมจากสีย้อมที่ละลายน้ำได้ โดยทำให้ตกตะกอนลงไปในตัวยัด (substrate) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ และโดยมากมักใช้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ สีย้อมที่ละลายน้ำได้เมื่อไปเกาะบนตัวยัดแล้วจะทำให้ไม่ละลายน้ำ

2.1.1.2 สารยึด (binder) หรือ สิ่งนำสี (vehicle) คือสารที่ทำหน้าที่ยึดประสานอนุภาคของสารประกอบในสีเข้าไว้ด้วยกันให้เกิดเป็นฟิล์มของสีติดแน่นกับพื้นผิวที่ถูกเคลือบ ได้แก่

1. น้ำมันแห้งเร็ว (drying oil) แห้งตัวได้เร็วที่สุด กล่าวคือ สามารถดูดออกซิเจนในอากาศเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง ไม่ละลายในตัวทำละลายที่สามารถละลายน้ำได้ และไม่ยอมให้ความชื้นซึมผ่านได้ รวมไปถึงมีความทนทานต่อสารเคมีด้วย

2. เรซินธรรมชาติ (natural resins) เรซินธรรมชาติเป็นของเหลวที่ปลดปล่อยออกมาจากเปลือกไม้หรือต้นไม้หรือสัตว์ ซึ่งต่อมาของเหลวดังกล่าวนี้ จะแข็งตัวเป็นก้อนแข็ง มีสมบัติโปร่งแสง เช่น ชันสน (rosin or colophony) ชัน หรือโคแพล (the copals) อำพัน (amber) แดมมาร์ (dammar) แมสติก (mastic) และแซนดาแรก (sandarac) เป็นต้น

3. เรซินสังเคราะห์ (synthetic resins)

2.1.1.3 ตัวทำละลาย (solvents) มีหน้าที่ช่วยปรับความหนืดของสีเพื่อให้เหมาะสมต่อการผลิต หรือสะดวกต่อการใช้ ตัวทำละลายส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ได้แก่

1. ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon solvents)

2. ตัวทำละลายน้ำมันดิน (coal tar solvents) ในขบวนการกลั่นน้ำมันดินจะแยกได้ส่วนซึ่งประกอบด้วยสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ต่ำที่สุด 3 ชนิด คือ เบนซีน โทลูอิน และไซลีน ซึ่งเบนซีนไม่เหมาะที่จะใช้เป็นตัวทำละลายและไดลูเอนต์ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว เนื่องจากระเหยง่าย มีจุดวาบไฟต่ำ และเป็นพิษ สำหรับโทลูอิน เป็นพิษน้อยกว่าเบนซีน และอัตราการระเหยก็เกินไปโดยเหมาะสม ดังนั้นจึงนิยมใช้โทลูอินเป็นไดลูเอนต์ในไนโตรเซลลูโลส และไวนิลแลกเกอร์ และใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับเรซินสังเคราะห์บางตัว

3. เทอร์เพนไทน์ (turpentine)

4. ตัวทำละลายที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอน (non-hydrocarbon solvents)

2.1.1.4 สารเติมแต่ง (additives) เป็นสารที่เติมลงไปในสีเพียงเล็กน้อย เพื่อช่วยให้สีมีสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น ทำให้สีแห้งเร็วขึ้น ทำให้สีไม่ขึ้นรา เป็นต้น

2.1.2 ขั้นตอนการผลิตสีทาบ้าน

การผลิตสีทาบ้าน (paint manufacture) ในเชิงอุตสาหกรรม มีขั้นตอนดังนี้ คือ

1. การผสม (premixing) เป็นการนำผงสีและส่วนประกอบที่เป็นของเหลว เช่น สารยืด ตัวทำละลายหรือตัวกลางบางส่วน ผสมเข้าด้วยกัน
2. การบด (grinding) เป็นการทำให้อนุภาคของผงสีมีขนาดเล็กลงตามต้องการ ซึ่งจะส่งผลให้ผงสี เกิดการเปียกและกระจายตัวได้ดี ในขั้นตอนนี้อาจมีการเติมส่วนประกอบที่เป็นของเหลวที่เหลือลงไปอีกหรือไม่ก็ได้
3. การปรับความข้นเหลว (adjustment of consistency) โดยการเติมสารยืด สารเติมแต่ง และตัวทำละลายที่เหลือลงไป
4. เทียบสีของผลิตภัณฑ์ให้ได้ตรงตามสีมาตรฐาน
5. ควบคุมคุณภาพ (quality control) ให้มีสมบัติต่างๆ ตรงตามมาตรฐาน
6. บรรจุ (filling) ในภาชนะหรือกระป๋องที่มีขนาดต่างๆ ตามต้องการ

2.1.3 ลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน

ลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการล้างภาชนะในแต่ละรอบของการผสมจะมีส่วนประกอบตามส่วนผสมต่างๆ ที่ตกค้างในภาชนะ ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียดิบจากโรงงานผลิตสีทาบ้านแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียดิบจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน

พารามิเตอร์ (parameter)	ช่วง (range)
pH	6.7-7.6
COD (มก. /ล.)	3,500-5,000
BOD (มก. /ล.)	1,000-1,500
SS (มก. /ล.)	4,500-6,000

ที่มา: รวบรวมจากผลการวิเคราะห์น้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้านในเขตกรุงเทพมหานครและในเขตปริมณฑลโดยบริษัท อี-สแควร์ สิ่งแวดล้อมและวิศวกรรม จำกัด, 2546

และผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดทางเคมีแล้วแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าจะมีค่าความสกปรกในรูปของบีโอดีต่อค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีมีค่าต่ำ

ตารางที่ 2.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน

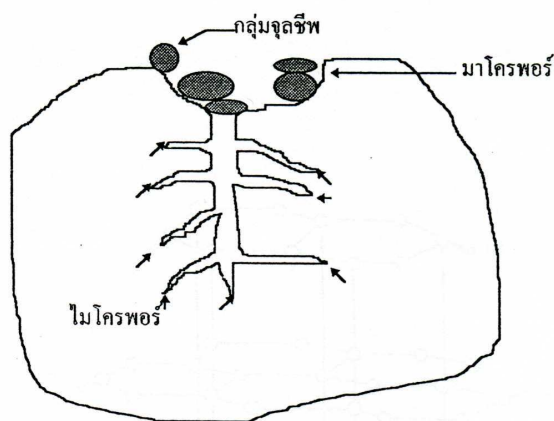
พารามิเตอร์ (parameter)	ช่วง (range)
pH (มก. /ล.)	6.5-7.5
COD (มก. /ล.)	750-1,250
BOD (มก. /ล.)	200-500
SS (มก. /ล.)	5-30

ที่มา: รวบรวมจากผลการวิเคราะห์น้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้านในเขตกรุงเทพมหานครและในเขตปริมณฑลโดยบริษัท อี-สแควร์ สิ่งแวดล้อมและวิศวกรรม จำกัด, 2546

2.2 กระบวนการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์

2.2.1 ลักษณะทางกายภาพของผงถ่านกัมมันต์

Rice และ Robson (1982 อ้างถึงใน กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์, 2539) กล่าวว่า พงถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะทางกายภาพเป็นรูพรุนซึ่งแบ่งออกเป็น มาโครพอร์ (macro pore) และ ไมโครพอร์ (micro pore) ลักษณะโดยทั่วไปแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปตัดแสดงลักษณะรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์เปรียบเทียบกับเซลล์จุลชีพ

ที่มา : Rice และ Robson (1982 อ้างถึงใน กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์, 2539)

Cheremisinoff และ Ellerbusch (1978 อ้างถึงใน กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์, 2539) กล่าวว่า พงถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่า 50 ไมโครเมตร และมาโครพอร์จะมีขนาดใหญ่กว่า 1,000 $\text{\AA}$ หรือ 0.1 ไมโครเมตร ในขณะที่ไมโครพอร์มีขนาด 10-1,000 $\text{\AA}$ หรือ 0.001-0.1 ไมโครเมตร ส่วนขนาดของแบคทีเรีย Metcalf และ Eddy (2003) กล่าวว่าแบคทีเรียจะมีขนาดประมาณ 10,000 $\text{\AA}$ หรือ 1 ไมโครเมตร ซึ่งจะใหญ่กว่าไมโครพอร์ ดังนั้นแบคทีเรียจึงไม่สามารถเข้าไปในไมโครพอร์ได้

2.2.2 ประเภทของการดูดซับ

Cheremisinoff และ Ellerbusch (1978 อ้างถึงใน กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์, 2539) กล่าวว่า ลักษณะเฉพาะที่สำคัญของผงถ่านกัมมันต์คือความสามารถในการดูดซับซึ่งสามารถแบ่งการดูดซับได้เป็นสองแบบ คือ

- การดูดซับทางกายภาพ (physisorption) เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างมวล (van der Waals force) เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้

- การดูดซับทางเคมี (chemisorptions) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างผิวด้านกัมมันต์กับสารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้

2.2.3 ขั้นตอนของการดูดซับ

มันสัน ดัชนีทูลเวสต์ (2526) กล่าวถึงขั้นตอนการดูดซับไว้ดังนี้

1. การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเข้าไปหาผิวด้านกัมมันต์ การเคลื่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีการกวนน้ำจนทำให้เกิดความปั่นป่วน
2. การแพร่ผ่านผิวฟิล์มของน้ำรอบๆ ผิวด้านกัมมันต์ (film diffusion) เมื่อโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเคลื่อนตัวเข้ามาถึงผิวของผิวด้านกัมมันต์ โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับต้องแทรกตัวผ่านฟิล์มของน้ำที่อยู่รอบๆ ให้ได้จึงจะเข้าถึงเนื้อของผิวด้านกัมมันต์ได้
3. การแพร่ผ่านเข้าไปในโพรงของผิวด้านกัมมันต์ (pore diffusion) โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับต้องแทรกตัวเข้าไปถึงช่องว่างภายในผิวด้านกัมมันต์จึงจะมีการดูดซับขึ้น
4. โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับต้องเกาะติดที่ผิวของผิวด้านกัมมันต์โดยไม่หลุด

2.2.4 ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ

มันสัน ดัชนีทูลเวสต์ (2526) กล่าวถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับดังนี้

1. ความปั่นป่วน ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำที่อยู่ล้อมรอบผิวด้านกัมมันต์กัมมันต์จะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาผิวด้านกัมมันต์ ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง น้ำจะไม่สะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนา เป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาผิวด้านกัมมันต์ได้รวดเร็วการเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง จากสาเหตุดังกล่าวในกรณีที่ผิวด้านกัมมันต์อยู่ในถังเดิมอากาศในระบบตะกอนเร่ง ตัวกำหนดอัตราเร็วการดูดซับจึงเป็น pore diffusion เนื่องจากมีความปั่นป่วนในถังเดิมอากาศสูง
2. ขนาดและพื้นที่ผิวของผิวด้านกัมมันต์ กล่าวคือผิวด้านกัมมันต์ที่มีขนาดใหญ่จะมีความสามารถในการดูดซับน้อยกว่าขนาดเล็ก พื้นที่ผิวของผิวด้านกัมมันต์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ นั่นคือ ยังมีพื้นที่ผิวมากจะดูดซับได้ดีกว่า
3. ความสามารถในการละลายน้ำของตัวที่ถูกดูดซับ สารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อย ส่วนใหญ่จะถูกดูดซับได้ดีกว่าสารที่ละลายน้ำได้ดี อย่างไรก็ตาม เกณฑ์ข้างต้นไม่ได้เป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะสารที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิดเกาะติดผิวของผิวด้านกัมมันต์ได้ยาก แต่ในทางตรงกันข้าม การดูดซับอาจเกิดขึ้นได้ง่ายกับสารที่ละลายน้ำได้ดี

4. ขนาด มวลโมเลกุล การดูดซับจะเกิดได้ดีที่สุดเมื่อตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่าโมโครพอร์เล็กน้อย ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับและผิวด้านกัมมันต์จะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในโพรงก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไป

5. พิเอช มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของผิวด้านกัมมันต์ได้ดี

6. อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูง และจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบ exothermic

2.2.5 โมเดลที่แสดงการดูดซับ

โมเดลของการดูดซับ จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการถูกดูดซับของผิวด้านกัมมันต์กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ ณ จุดสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ โดยแสดงในรูปสมการของ Freundlich isotherm และ Langmuir isotherm ที่กล่าวถึงโดย Metcalf & Eddy (2003) มีรายละเอียดของสมการดังนี้

1. Freundlich isotherm equation

$$x/m = K_f C_e^{1/n}$$

$$x/m = \text{ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของผิวด้านกัมมันต์ (มก./ก.)}$$

$$C_o = \text{ความเข้มข้นของซีไอดีก่อนการดูดซับ (มก./ล.)}$$

$$C_e = \text{ความเข้มข้นของซีไอดีหลังการดูดซับ (มก./ล.)}$$

$$K_f, n = \text{ค่าคงที่ในแต่ละสารละลายและอุณหภูมิ}$$

Freundlich isotherm มักจะแสดงในรูปลอการิทึม คือ

$$\text{Log } x/m = \text{Log } K_f + (1/n) \text{ Log } C_e$$

2. Langmuir isotherm equation

$$x/m = \frac{ab C_e}{(1 + bC_e)}$$

$$C_e = \text{ความเข้มข้นของซีไอดีหลังการดูดซับ (มก./ล.)}$$

$$x/m = \text{ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของผิวด้านกัมมันต์ (มก./ก.)}$$

$$a, b = \text{ค่าคงที่}$$

$$\text{สามารถจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น}$$

$$\text{Ce/(x/m)} = (1/ab) + (\text{Ce/a})$$

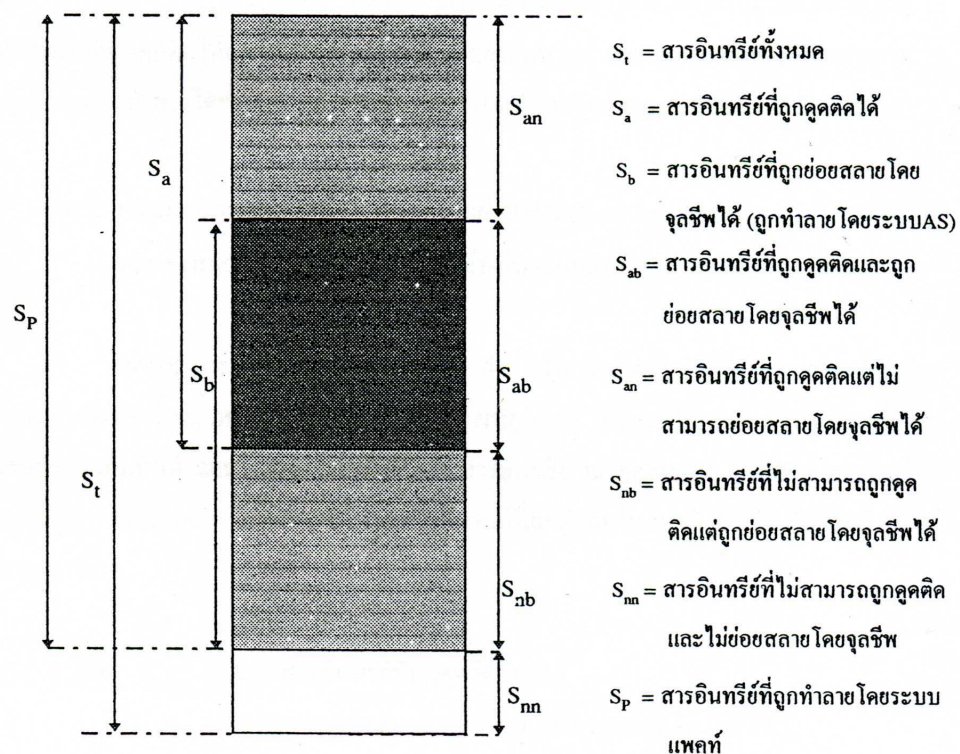
2.3 ระบบแพคท์ (Powdered activated carbon treatment system, PACT system)

2.3.1 ลักษณะทั่วไป

กระบวนการที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์ (PAC) เข้าไปในระบบตะกอนเร่งได้จดสิทธิบัตร (US patent 3,904,518) โดย du Pont (Sublette และคณะ, 1982) Robertaccio และคณะ (1972, 1973, 1978, 1979 อ้างถึงใน Sublette และคณะ, 1982) ได้รายงานการทดลองบำบัดน้ำเสียจาก du Pont's chambers works plant in deepwater ที่นิวเจอร์ซีย์ ซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีความแปรผันสูง มีองค์ประกอบที่เป็นโลหะหนักและสารอินทรีย์ทั้งที่ย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้ว่า ผลประโยชน์ที่ได้จากกระบวนการเติมผงถ่านกัมมันต์เข้าไปในระบบตะกอนเร่งที่เหนือกว่าระบบตะกอนเร่งที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ มีดังนี้

- กำจัดบีโอดีได้ดีขึ้น
- กำจัดซีโอดีและสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก (refractory organics) ได้ดีขึ้น
- เพิ่มเสถียรภาพของระบบให้สามารถรองรับภาระบรรทุกที่สูงขึ้นอย่างกะทันหัน (shock loads) และปัญหาสารพิษที่อาจเกิดขึ้น
- การตกตะกอนของสลัดจ์และการแยกน้ำออกจากตะกอนดีขึ้น
- น้ำทิ้งมีพิษต่อปลาน้อยลง
- ลดการเกิดฟองในถังเติมอากาศ

Meidl และ Burant (1974 อ้างถึงใน กมลรัตน์ ศีประเสริฐวงศ์, 2539) ได้จัดหมวดหมู่ของลักษณะน้ำเสียได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของน้ำเสีย

ที่มา : Meidl และ Burant (1974 อ้างถึงใน กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์, 2539)

จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ระบบแพคท์ในการบำบัดน้ำเสียจะครอบคลุมการกำจัดสารอาหารได้มากขึ้นและเหลือส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายโดยจุลชีพและไม่สามารถถูกคูดัดได้เท่านั้น นั่นคือ

$$\text{จาก } S_t = S_p + S_{nn} \text{ หรือ } S_p = S_t - S_{nn}$$

จากรูป $S_t = S_p + S_{nn}$ หมายถึง สารอินทรีย์ที่ถูกทำลายโดยระบบแพคท์จะเท่ากับ สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายโดยจุลชีพหรือถูกทำลายโดยระบบตะกอนร่วมกับ สารอินทรีย์ที่ถูกคูดัดได้แต่ไม่สามารถถูกทำลายโดยระบบตะกอนเร่ง

หรือ $S_p = S_a + S_{nb}$ หมายถึง สารอินทรีย์ที่ถูกทำลายโดยระบบแพคท์จะเท่ากับ สารอินทรีย์ที่ถูกคูดัดได้ร่วมกับสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถถูกคูดัดแต่ถูกทำลายโดยระบบตะกอนเร่ง

หรือ $S_p = S_{an} + S_{nb} + S_{ab}$ หมายถึง สารอินทรีย์ที่ถูกทำลายโดยระบบแพคท์จะเท่ากับ สารอินทรีย์ที่ถูกคูดัดได้แต่ไม่สามารถถูกทำลายโดยระบบตะกอนเร่งร่วมกับสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถถูกคูดัดแต่ถูกทำลายโดยระบบตะกอนเร่งร่วมกับสารอินทรีย์ที่ถูกคูดัดแต่ถูกทำลายโดยระบบตะกอนเร่ง

2.3.2 ความสามารถในการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์และความสามารถในการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ในระบบแฟลท์

ความสามารถในการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่สามารถถูกดูดซับในผงถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยน้ำหนักผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ ที่อุณหภูมิคงที่ มีหน่วยเป็นมวลของสารอินทรีย์ต่อมวลของผงถ่านกัมมันต์ ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ณ จุดสมดุลย์ สามารถแสดงโดยใช้ Freundlich isotherm ในการหาปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับในผงถ่านกัมมันต์ทำได้โดยคำนวณจากสมการ

$$x = (C_o - C_e) V$$

เมื่อ x = ปริมาณซีโอไลท์ที่ถูกดูดซับ (มก.)

C_o = ความเข้มข้นของซีโอไลท์ก่อนการดูดซับ (มก./ล.)

C_e = ความเข้มข้นของซีโอไลท์หลังการดูดซับ (มก./ล.)

V = ปริมาตรของตัวอย่างที่นำมาทดลอง (ลิตร)

ปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับในผงถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยน้ำหนักผงถ่านกัมมันต์

หาจากสมการ

$$x/m = (C_o - C_e) V/m$$

เมื่อ m = น้ำหนักของผงถ่านกัมมันต์ (มก.)

Flynn (1974, 1975 อ้างถึงใน Sublette และคณะ, 1982) ได้ใช้แบบจำลองของระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์มาบำบัดน้ำเสียจาก du Pont chambers works โดยมี อุณหภูมิ ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ และอายุตะกอนเป็นตัวแปรต้น พบว่าซีโอไลท์ลดลงได้มากขึ้นตามค่าอายุตะกอน และความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ และได้แบ่งองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำเสียดังกล่าวตามความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพและความสามารถในการดูดซับดังนี้

- สารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้และถูกดูดซับไม่ได้ หรือ สารที่ย่อยสลายได้ช้าและถูกดูดซับไม่ได้ สารเหล่านี้ไม่สามารถกำจัดได้ ด้วยระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งธรรมดาหรือแบบตะกอนเร่งที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์

- สารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย สารเหล่านี้สามารถกำจัดได้ด้วยประสิทธิภาพที่เท่ากัน ไม่ว่าจะใช้ระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งธรรมดาหรือแบบตะกอนเร่งที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์

- สารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้และถูกดูดซับได้ หรือ สารที่ย่อยสลายได้ช้าและถูกดูดซับได้ ระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดสารเหล่านี้ได้ด้วยประสิทธิภาพที่สูงกว่าระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งธรรมดา โดยได้ให้เหตุผลว่าการ

ลดลงของสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้และถูกดูดซับได้ในระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์ เกิดจากการถูกดูดซับเท่านั้น ส่วนการลดลงของสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ซ้ำและถูกดูดซับได้ พบว่าขึ้นกับระยะเวลาสัมผัส (contact time) โดยที่ขึ้นแรกสารเหล่านี้จะลดลงจากการถูกดูดซับ แต่ถ้ามีระยะเวลาสัมผัสเพียงพอ สารที่ถูกดูดซับเหล่านี้ถูกย่อยสลายทางชีวภาพด้วยกลไกบางอย่าง และทำให้พื้นผิวพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้อีก กลไกที่ทำให้เกิดสถานะเสริมนี้เกิดจากสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ที่ถูกดูดซับเปลี่ยนเป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ ในระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งธรรมดา สารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ซ้ำ จะสัมผัสกับชีวมวลเท่ากับระยะเวลากักพักของน้ำ (hydraulic retention time) ซึ่งมีค่าประมาณ 4-8 ชั่วโมง แต่ในระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์ สารที่ถูกดูดซับเหล่านี้จะสัมผัสกับชีวมวลเป็นเวลานานเท่ากับอายุตะกอน ซึ่งมีค่าประมาณ 5-50 วัน ดังนั้นการฟื้นฟูสภาพทางชีวภาพ (bioregeneration) จะเพิ่มขึ้นตามค่าอายุตะกอน

Dewalle และ Chian (1977) ได้ทดลองเติมผงถ่านกัมมันต์ในระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง ณ ค่าอายุตะกอนต่างๆ พบว่า เปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ (PAC equilibrium concentration) และที่ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ค่าหนึ่ง การลดลงของซีโอดีมีแนวโน้มว่าไม่เกี่ยวข้องกับค่าอายุตะกอน และจากสมการของ Freundlich isotherms แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการดูดซับค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่าอายุตะกอนซึ่งเป็นไปได้ว่าเป็นผลมาจากการฟื้นฟูสภาพบางส่วน of ผงถ่านกัมมันต์ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งการฟื้นฟูสภาพมาจากสัดส่วนของตะกอนชีวภาพต่อผงถ่านกัมมันต์

Aktas และ Geççen (2001) พบว่า การเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งแบบเบตซ์ (batch activated sludge) สามารถกำจัดซีโอดีได้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสามารถกำจัดส่วนที่ย่อยสลายยากทางชีวภาพในน้ำชะขยะจากกระบวนการฝังกลบได้ นอกจากนี้การเติมผงถ่านกัมมันต์ยังช่วยเสริมกระบวนการไนตริฟิเคชันในถังปฏิริยามากขึ้น แต่ในทุกการทดลองพบว่าการสะสมของไนโตรเจนในไตรเจนมาก ซึ่งแสดงว่าขั้นตอนที่สองของการเกิดไนตริฟิเคชัน (ไนโตรเจนในไตรเจนเปลี่ยนเป็นไนเตรทไนโตรเจน) ถูกยับยั้ง

2.3.3 ปฏิริยาต่อกันระหว่างผงถ่านกัมมันต์และกลุ่มจุลชีพ

การที่ผงถ่านกัมมันต์ผสมรวมกันกับจุลชีพนี้ทำให้เกิดผลดีมากกว่าการกำจัดสารอินทรีย์โดยการถูกดูดซับ บวกกับการย่อยสลายโดยจุลชีพที่แยกกัน นั่นคือการถูกดูดซับของสารอินทรีย์จะมากขึ้นและการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลชีพก็จะมากขึ้นหรือที่เรียกว่าเกิดสถานะ

เสริม (synergy) สาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาต่อกัน (interaction) ระหว่างผงถ่านกัมมันต์และกลุ่มจุลชีพ โดยมีผู้ค้นคว้าปฏิกิริยาต่อกันระหว่างผงถ่านกัมมันต์และกลุ่มจุลชีพดังกล่าวดังนี้

Perrotti และ Rodman (1973 อ้างถึงใน Zhang และคณะ, 1991) ได้กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับการฟื้นฟูสภาพทางชีวภาพของผงถ่านกัมมันต์ โดยมีสมมุติฐานว่าการปลดปล่อยสารที่ถูกดูดซับออกมา (desorption) เกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ถูกหลั่งออกมาภายนอก (exoenzymatic reaction) แม้ว่าแบคทีเรียจะมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะเข้ามาอยู่ในรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ แต่แบคทีเรียจะมีการหลั่งเอนไซม์บางชนิดออกมา ซึ่งจะแพร่เข้าไปในรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ได้ง่ายกว่า และทำปฏิกิริยากับสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งจะได้ออกสารที่ถูกดูดซับได้ต่ำ จึงทำให้เกิดการปลดปล่อยสารที่ถูกดูดซับออกมา (desorption) นอกรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ต่อไป

Wallis และ Bolton (1982 อ้างถึงใน กมลรัตน์ ดิประเสริฐวงศ์, 2539) กล่าวถึงกลไกระหว่างผงถ่านกัมมันต์และจุลชีพในการปรับคืนสภาพของผงถ่านกัมมันต์ ว่า

- การปลดปล่อยการดูดซับของสารอินทรีย์ ที่ถูกดูดซับจากผิวของผงถ่านกัมมันต์โดยการแพร่ เนื่องจากความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ต่างกัน
- การแพร่ของโมเลกุลของสารอินทรีย์ผ่านไมโครพอร์ ออกไปยังขอบผิวของผงถ่านกัมมันต์
- โมเลกุลของสารอินทรีย์แพร่ผ่านชั้นฟิล์มต่างๆ ที่ล้อมรอบผงถ่านกัมมันต์ผ่านไมโครพอร์ ออกไปยังสารละลาย (bulk solution)
- จุลชีพย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีพิษให้เป็นสารอินทรีย์ที่ไม่มีพิษ ผู้วิจัยสรุปว่ากลุ่มจุลชีพทำหน้าที่ในเรื่องการปรับคืนสภาพของผงถ่านกัมมันต์อยู่สองประการ (โดยมีฟินอลเป็นสารอินทรีย์) คือ รักษาความเข้มข้นของฟินอลให้อยู่ในระดับต่ำ และเปลี่ยนฟินอลที่หลุดจากการดูดซับให้เป็นสารที่เป็นพิษน้อยลง

Jiang และ Huang (1982 อ้างถึงใน Zhang และคณะ, 1991) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกระจายตัวของสารที่ถูกดูดซับในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน (D) กับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารที่ถูกดูดซับ (d) สรุปได้ คือ

- $1.7d < D < 21d$ เป็นช่วงที่สารที่ถูกดูดซับจะสามารถถูกดูดซับได้
- $1.7d < D < 6d$ เป็นช่วงที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงที่สุด และมีสารที่ถูกดูดซับเพียง 1 โมเลกุลเท่านั้นที่ถูกดูดซับโดยโมเลกุลดังกล่าวนี้จะถูกดูดซับติดแน่นในรูด้วยแรงดึงดูดที่ได้รับจากผนังโดยรอบ

- $D < 1.7d$ พลังงานภายหลังการดูดซับจะเพิ่มขึ้นและเป็นผลให้เกิดแรงผลัก

- $D > 3d$ แรงดึงดูดที่สารที่ถูกดูดซับที่ได้รับจะค่อยๆเปลี่ยนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของผนังและแรงดึงดูดจะอ่อนแรงลง

- $D < 3d$ สารถูกดูดซับจะถูกดูดซับแบบติดแน่น

เอนไซม์ก็สามารถถูกดูดซับได้และกระจายตัวไปในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์แบบเดียวกัน ปฏิกิริยาการย่อยสลาย (enzymatic reactions) ต้องการพื้นที่บางส่วนและอิสระในการเคลื่อนที่สำหรับทั้งเอนไซม์และสารอื่นที่ถูกดูดซับ เพื่อให้ปรับตัวให้พอดีกับพื้นที่ จึงแนะนำว่าหากจะให้เอนไซม์สามารถทำหน้าที่ในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ได้ดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนควรใหญ่กว่าขนาดของเอนไซม์ประมาณสามเท่า ($D < 3d$) Shen และคณะ (1980 อ้างถึงใน Zhang และคณะ, 1991) กล่าวว่าเอนไซม์ที่มีโครงสร้างอย่างง่ายที่สุดและมีขนาดเล็กที่สุดคือ monomeric enzymes ซึ่งมีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 13,000 – 35,000 และจากการประมาณขนาดของเอนไซม์ (โดยใช้ทฤษฎีการประมาณจากมวลโมเลกุล) โดย Yan และ Zhang (1982 อ้างถึงใน Zhang และคณะ, 1991) ได้ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของเอนไซม์ประมาณ 31 – 44 Å°

จากข้อมูลข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ ซึ่ง exoenzyme จะทำหน้าที่ได้ดี ควรใหญ่กว่า 100 Å° แต่เนื่องจากพื้นที่ดูดซับหลักๆของผงถ่านกัมมันต์คือในไมโครพอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 40 Å° ซึ่งมีมากกว่า 95 % ของพื้นที่ผิวทั้งหมดของผงถ่านกัมมันต์ ดังนั้นสารที่ถูกดูดซับจะต้องเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่า 1000 จึงทำให้สมมุติฐานเกี่ยวกับการปลดปล่อยสารที่ถูกดูดซับออกมา (desorption) เกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ถูกหลั่งออกมาภายนอก ไม่มีเหตุผลเพียงพอ (Zhang และคณะ, 1991)

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงาน

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบแพคท์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบตะกอนเร่งรวมกับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ Cheremisinoff และ Ellerbusch (1978 อ้างถึงใน กมลรัตน์ ศิประเสริฐวงศ์, 2539) ได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบอยู่ 4 อย่างคือ

1. ปริมาณและชนิดของผงถ่านกัมมันต์ที่เติม จากงานวิจัยที่ผ่านมา นิยมใช้ปริมาณความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่เติมเดิมอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบ

ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่เดิม ถ้าปริมาณความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ในถังเดิมอากาศมาก ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งก็จะลดลง ชนิดของผงถ่านกัมมันต์ที่แตกต่างกันจะมีผลต่อการทำงานของระบบแพคที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของผงถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดเป็นสำคัญ ถ้าผงถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวต่อมวลมากกว่าก็จะเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดได้มากกว่า ชนิดของผงถ่านกัมมันต์ที่แตกต่างกันก็จะมีลักษณะและขนาดรูพรุนแตกต่างกัน มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับแตกต่างกัน

2. ค่าอายุสลัดจ์ ถ้าค่าอายุสลัดจ์มาก การกำจัดสารอินทรีย์ก็จะดีขึ้น โดยมีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เดิมเทียบกับปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (C_0) เท่าเดิม

3. เวลาพักน้ำ โดยปกติประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบแพคที่จะขึ้นกับค่าอายุสลัดจ์เป็นสำคัญ แต่ก็มีผู้ศึกษาบางท่านชี้ว่าการเพิ่มเวลาพักน้ำทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ดีขึ้น

4. อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อระบบ เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้ความสามารถในการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ลดลง แต่จะทำให้การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น

2.4 ระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม (Fixed-film aeration process)

ระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม (fixed-film aeration process) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้พัฒนาจากระบบตะกอนเร่ง (activated sludge process) โดยเพิ่มตัวกลางลงในถังเติมอากาศสำหรับการกักเก็บและเลี้ยงจุลินทรีย์เกาะ

Escritt (1965 อ้างถึงใน ศิริลักษณ์ ศิริ, 2544) กล่าวว่า ฟิล์มจุลินทรีย์สามารถเกิดขึ้นได้บนผิวใดๆที่สัมผัสกับน้ำเป็นสิ่งสำคัญในการฟอกตัวเองของน้ำในธรรมชาติ (self purification process) การเจริญเติบโตของฟิล์มจุลินทรีย์บนผิวของตัวกลางเป็นผลมาจากกระบวนการทางกายภาพเคมี และชีวภาพ ดังนี้

1. การเคลื่อนย้าย (transportation) และการดูดซับ (adsorption) ของโมเลกุลสารอินทรีย์ไปยังผิวของตัวกลาง
2. การขนส่ง (transportation) ของเซลล์จุลินทรีย์ไปยังผิวตัวกลาง
3. การเกาะยึด (attachment) ของจุลินทรีย์
4. การแปลงรูป (transformation) ของจุลินทรีย์เป็นฟิล์มจุลินทรีย์บริเวณผิวตัวกลาง

5. การหลุด (detachment) ของฟิล์มจุลชีพบางส่วน เนื่องมาจากแรงเฉือน (fluid shear stress) ของน้ำ

Wanner และคณะ (1988) ได้ทดลองใช้ระบบตรึงฟิล์ม (fixed-film) เข้าเสริมในระบบตะกอนเร่ง พบว่า สามารถตกตะกอนได้ดี และช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลชีพชนิดเส้นใย (filamentous) นอกจากนั้นยังพบอีกว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันของระบบไม่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาเก็บกักของจุลชีพที่แขวนลอย (solid retention time) เพราะว่าไนตริฟายอิงแบคทีเรียจะเกิดขึ้นได้ดีบนวัสดุยึดเกาะ

Gebara (1999) ได้ศึกษาระบบบำบัดแบบผสมระหว่างระบบตรึงฟิล์มกับระบบตะกอนเร่ง ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำเสียชุมชน พบว่าเมื่อระบบมีตาข่ายพลาสติกอยู่ในถังเดิมอากาศของระบบตะกอนเร่ง มีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลชีพผสมกันทั้งแบบแขวนลอยและแบบยึดติดกับที่ จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดค่าบีโอดี และการตกตะกอนได้ดีขึ้น และสามารถนำผลการศึกษานี้มาใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

- สามารถลดขนาดของถังเดิมอากาศ ซึ่งจะช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างได้
- สามารถเพิ่มเสถียรภาพของระบบบำบัดน้ำเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งเดิมที่มีอยู่ โดยการติดตั้งตาข่ายพลาสติกลงในถังเดิมอากาศ

ดังนั้นในการวิจัยนี้ จึงเลือกเดิมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม แทนการใช้ระบบตะกอนเร่งในการกำจัดสารอินทรีย์ ซึ่งระบบดังกล่าวเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียร่วมระหว่างกระบวนการเกิดฟิล์มจุลชีพกับระบบตะกอนเร่ง

บทที่ 3

การดำเนินการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาวิจัยระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory scale) ที่ใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีทาบ้านมาทำการทดลอง และชุดทดลองที่ใช้ในการทดลอง สอดคล้องกับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้านโดยทั่วไป

3.1 แผนการทดลอง

การวิจัยนี้ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการของบริษัท อี-สแควร์ สิ่งแวดล้อมและวิศวกรรม จำกัด โดยใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีด้วย $FeCl_3$ และโพลิเมอร์ประจุลบ (anionic polymer) จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้าน การทดลองมีจำนวน 2 ชุด (ชุดที่ 1 เป็นชุดควบคุม ซึ่งไม่ได้เติมผงถ่านกัมมันต์เพื่อใช้สำหรับนำมาเปรียบเทียบผลการทดลองและชุดที่ 2 เป็นชุดทดลอง) ซึ่งทั้งสองชุดการทดลองเป็นระบบเติมอากาศแบบครึ่งฟิล์มที่มีการไหลแบบต่อเนื่อง มีตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาคือ ปริมาณความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ในถังเติมอากาศ ส่วนพารามิเตอร์และค่าของพารามิเตอร์ที่ควบคุมแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และค่าของพารามิเตอร์ที่ควบคุม

พารามิเตอร์ที่ควบคุม	ค่าของพารามิเตอร์ที่ควบคุม
พีเอช, pH	6-8
ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเสียเข้าระบบ, COD_{inf} (มก. /ล.)	750-1,500
ระยะเวลาเก็บกัก, HRT (ชั่วโมง)	48
อัตราการป้อนน้ำเสีย (ลิตร/ชม.)	2.5
อายุตะกอน, SRT (วัน)	30
ออกซิเจนละลายน้ำในถังเติมอากาศ, DO (มก. /ล.)	≥ 4

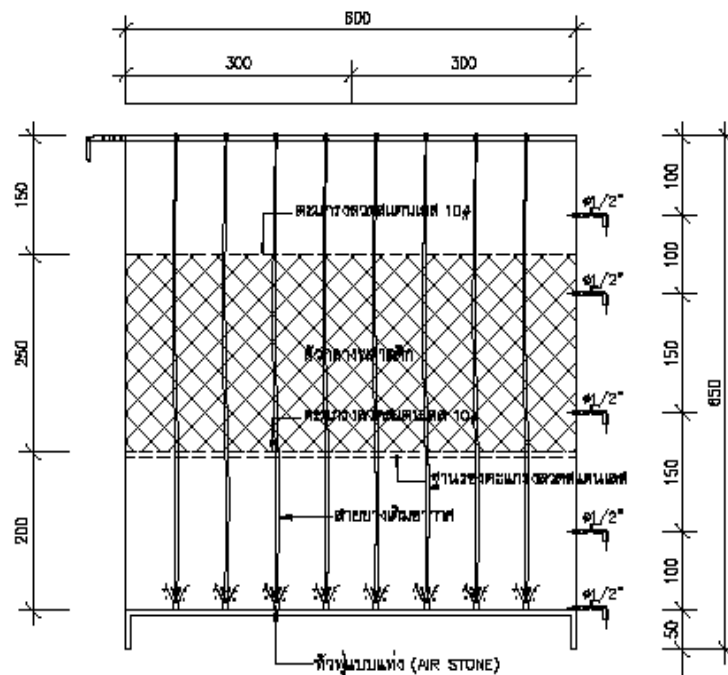
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ทำการออกแบบ ติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดการออกแบบแสดงไว้ในภาคผนวก ก โดยมีองค์ประกอบของระบบประกอบด้วย

1. ถังปรับสภาพน้ำเสีย (equalization tank) ใช้สำหรับพักตัวอย่างน้ำเสีย ทำจากโพลีเอทิลีนรุ่น ROT260A ขนาดปริมาตรถึง 260 ลิตร จำนวน 1 ถัง
2. เครื่องสูบน้ำ (pump) ซึ่งใช้เป็นชนิด metering pump ยี่ห้อ prominent รุ่น CNPA0308PVT209A01 อัตราการสูบ 8.5 ลิตรต่อชั่วโมง ที่แรงสูบส่ง 3.0 บาร์ จำนวน 2 ชุด ใช้สูบน้ำจากถังปรับสภาพน้ำเสียเข้าสู่ถังเติมอากาศ
3. ถังเติมอากาศ (aeration tank) ทำจากพลาสติกใสปริมาตร 120 ลิตร ภายในบรรจุตัวกลางพลาสติก ปริมาณ 42 ลิตร จำนวน 2 ชุด พร้อมสายยางเติมอากาศและหัวพ่นอากาศ (air diffuser) ชนิดแท่งทราย แสดงดังรูปที่ 3.1
4. เครื่องเติมอากาศ (air pump) ใช้ในการเติมอากาศให้จุลินทรีย์โดยใช้เครื่องเติมอากาศ NITTO (MEDO) รุ่น LA-45B ปริมาตรอากาศสุทธิ 45 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 เครื่อง (จ่ายให้กับถังเติมอากาศทั้งสองชุด)
5. ตัวกลางพลาสติก (plastic media) ที่ใส่ในถังเติมอากาศ 42 ลิตรต่อถัง (35 % ของปริมาตรถัง) ลักษณะและคุณสมบัติของตัวกลางที่ใช้มีดังนี้

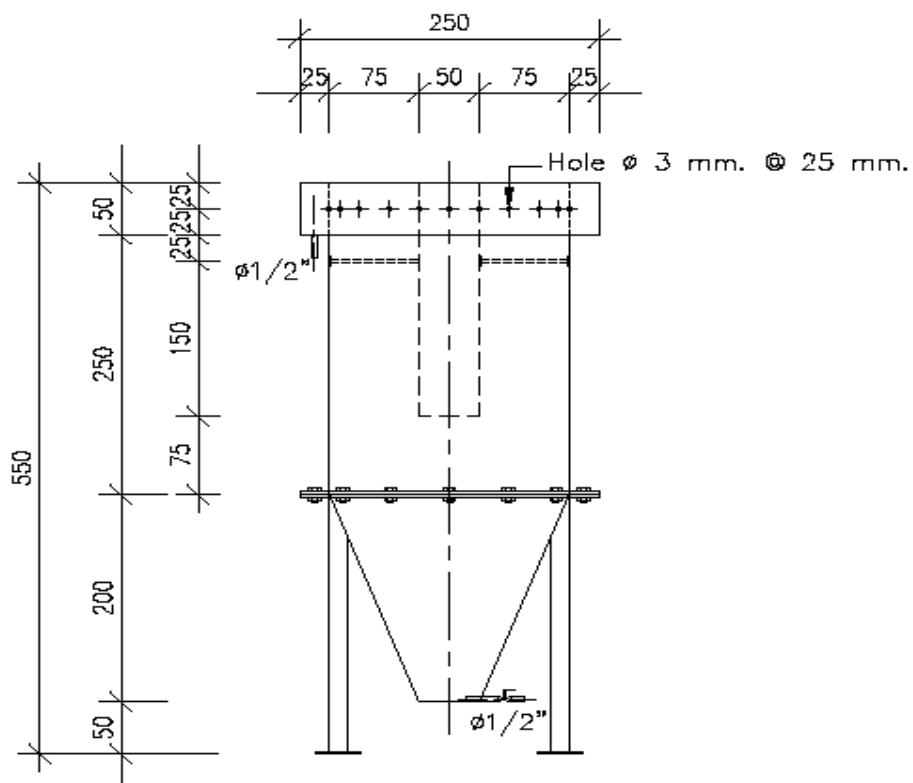
ชนิดตัวกลางพลาสติก	Pall ring
วัสดุ	Low density polyethylene
ช่องว่าง (%)	90
พื้นที่ผิว (m^2/m^3)	240

6. ถังตกตะกอน (sedimentation tank) เป็นถังกลมทำจากพลาสติกใสและมีกรวยสำหรับตกตะกอนด้านล่าง เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 เมตร ขนาดความจุ 7.5 ลิตร จำนวน 2 ชุด แสดงดังรูปที่ 3.2



หมายเหตุ: หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 3.1 ถังเติมอากาศ (aeration tank) ภายในบรรจุตัวกลางพลาสติก



หมายเหตุ: หน่วยเป็นมิลลิเมตร

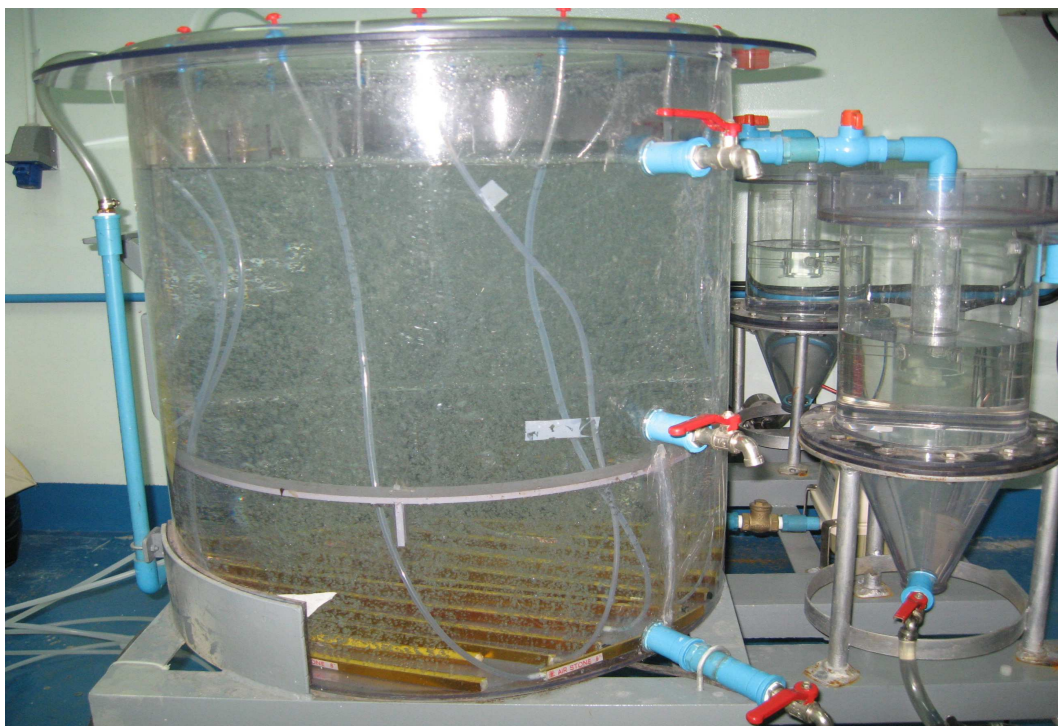
รูปที่ 3.2 ถังตกตะกอน (sedimentation tank)

7. ถังรับน้ำทิ้งจากระบบ (effluent tank) ใช้สำหรับรองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ทำจากโพลีเอทิลีนรุ่น CEN100B-L5X6 ขนาดปริมาตรถึง 100 ลิตร จำนวน 2 ชุด

8. พงถ่านกัมมันต์ (powdered activated carbon) ที่ใช้ในการทดลองปริมาณประมาณ 30 กิโลกรัม มีคุณสมบัติตามมาตรฐานวิธีการทดสอบของ American society for the testing of materials; ASTM (สมาคมทดสอบวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา) ดังนี้

- Particle size distribution: -325 mesh (0.045 mm.)	Min 60%
- Surface area (m ² /g)	Min 1000
- Iodine number (mg. /g) AWWA B604	Min 950
- Carbon tetrachloride adsorption (ASTM 3467-88)	Min 40 (% w/w)
- pH	9.0-11.0
- Ash (as packed)	Max 8 (% w/w)
- Moisture (as packed)	Max 10 (% w/w)
- Apparent density (g/cc.)	Min 0.5

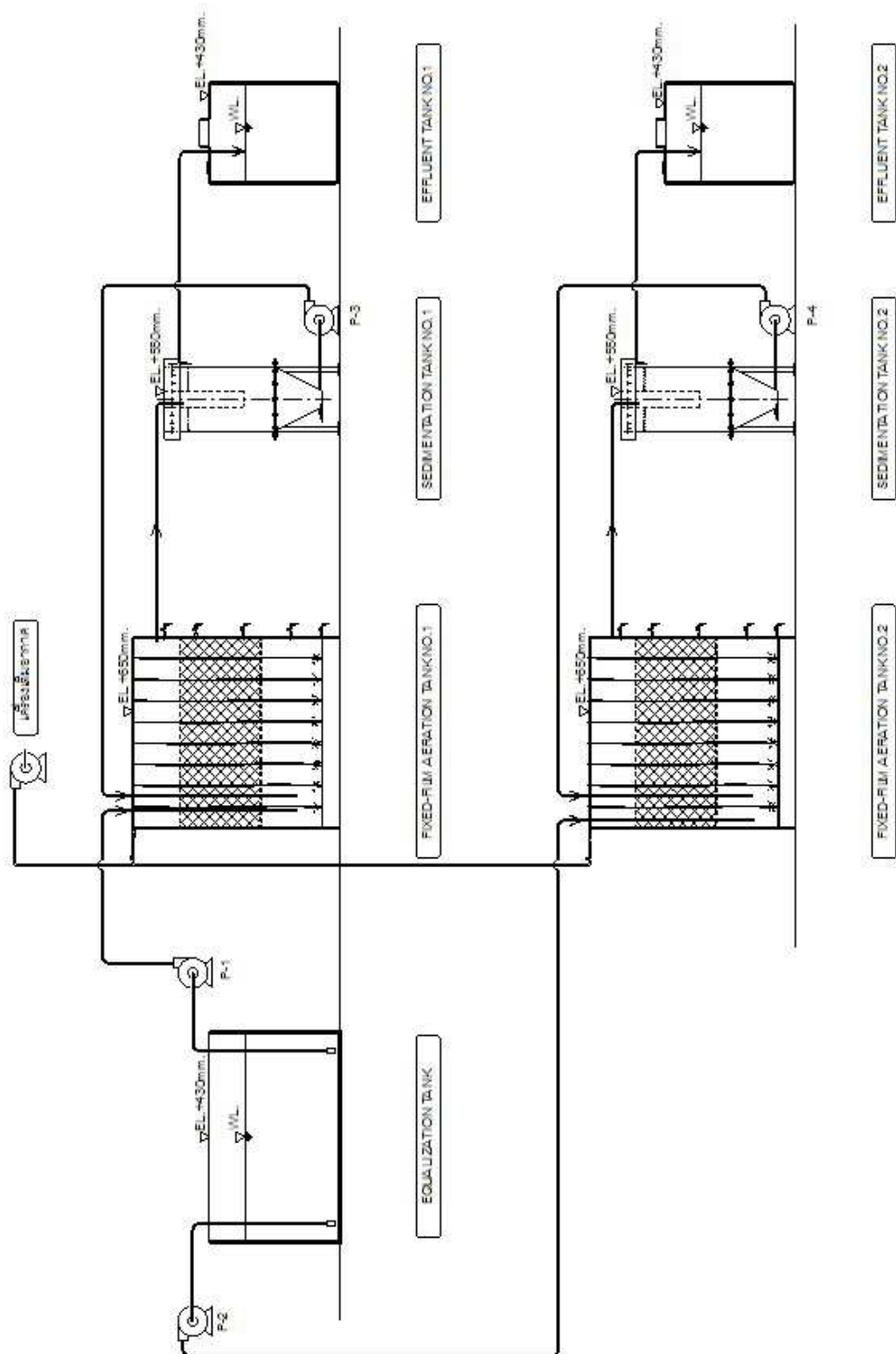
โมเดลระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.3 และองค์ประกอบระบบบำบัดน้ำเสียแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 โมเดลระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย



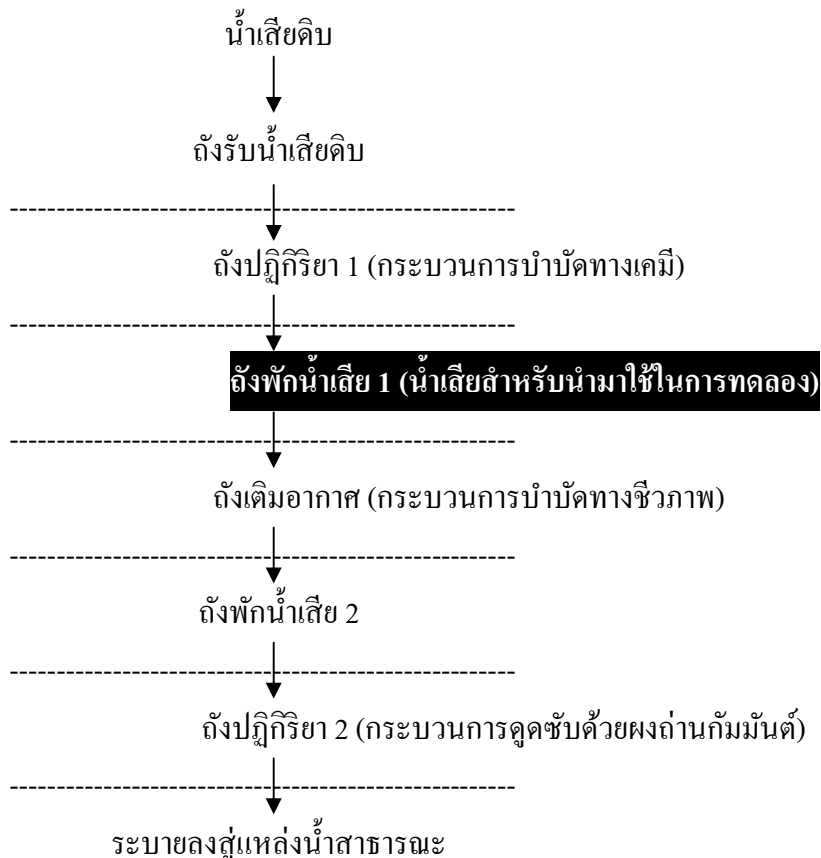
รูปที่ 3.3 โมเดลระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย (ต่อ)



รูปที่ 3.4 องค์ประกอบระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย

3.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียสำหรับนำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้าน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้านที่นำน้ำเสียมาทำการวิจัย

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.4.1 การหาไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm)

การทดลองหาไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm) สารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมี และค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ตามวิธี ASTM D 3860 – 89a (reapproved 1993) Standard

practice for determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique มีรายละเอียดดังนี้

1. ครั้งแรกทดสอบกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน เริ่มทำการทดลองโดยการเติมน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ม.ล. 10 ใบ ใบละ 100 ม.ล. จากนั้นเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0 และ 20.0 กรัม ลงไปในขวด ทำให้ได้ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 20000, 50000, 100000 และ 200000 มก./ล. ตามลำดับ ในการทดสอบ isotherm ครั้งที่สองทดสอบกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน เริ่มทำการทดลองโดยการเติมน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ม.ล. 10 ใบ ใบละ 100 ม.ล. จากนั้นเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0 และ 20.0 กรัม ลงไปในขวด ทำให้ได้ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 20000, 50000, 100000 และ 200000 มก./ล. ตามลำดับ

2. นำขวดต่างๆ ในข้อ 1. ไปเข้าเครื่องกวนผสม ณ อุณหภูมิห้อง โดยใช้ระยะเวลาสัมผัส 2 ชั่วโมง

3. นำตัวอย่างที่ผ่านการกวนผสมแล้วไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ของ Whatman แล้วนำน้ำที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาค่าซีไอดี

4. คำนวณหา x/m จากสมการ $x/m = (C_0 - C_e) V/m$ และนำค่า x/m และ C_e ไปกำหนดเส้น isotherm บนกระดาษกราฟ log-log

x/m = ปริมาณของซีไอดีที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของผงถ่านกัมมันต์ (มก./ก.)

C_0 = ความเข้มข้นของซีไอดีก่อนการดูดซับ (มก./ล.)

C_e = ความเข้มข้นของซีไอดีหลังการดูดซับ (มก./ล.)

V = ปริมาตรของตัวอย่างที่นำมาทดลอง (มล.)

3.4.2 การเริ่มต้นการทดลอง (Start up)

เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์แบบใช้อากาศในถังเดิมอากาศมีความพร้อมก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย โดยการนำเชื้อจุลินทรีย์และตัวกลางพลาสติกจากถังเดิมอากาศของโรงงานผลิตสีทาบ้าน เป็น seed ใส่ถังเดิมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory scale) โดยใส่ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ถังละ 60 ลิตร และใส่ตัวกลางพลาสติกถังละ 42 ลิตร ทำการเติมน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดทางเคมีของโรงงานผลิตสีทาบ้าน ให้เต็ม

ถึงแล้วเปิดเครื่องเติมอากาศ จากนั้นเริ่มป้อนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดทางเคมีของโรงงานผลิตสีทาบ้าน เพื่อเลี้ยงจุลินทรีย์แบบต่อเนื่อง แล้วจึงดำเนินการตรวจวัดสถานะในถังเติมอากาศได้แก่ pH, DO และ MLSS ตลอดจน COD ของน้ำเสียก่อนและหลังบำบัด จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) สังเกตได้จากประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี

3.4.3 การทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ดำเนินการทดลองเดินระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองทั้ง 2 ชุด โดยชุดที่ 1 ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเติมอากาศ (ชุดควบคุม) ส่วนชุดที่ 2 เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเติมอากาศ (ชุดทดลอง) โดยเดินระบบที่อัตราการป้อนน้ำเสีย 2.5 ลิตรต่อชั่วโมง จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) สังเกตได้จากประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี

การทดลองที่ 1 ดำเนินการทดลองโดยกำหนดระยะเวลาพักน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองทั้งสองชุดที่ 48.0 ชั่วโมง โดยชุดที่ 1 ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเติมอากาศ (ชุดควบคุม) ส่วนชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) เติมผงถ่านกัมมันต์ 480 กรัม (4000 มก./ล.) ซึ่งความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่เลือกใช้ได้จากการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน โดยเดินระบบอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) และเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 16 กรัม ที่หายไปจากระบบอันเนื่องมาจากการทิ้งตะกอนเชื้อออกจากถังเติมอากาศประมาณวันละ 3.9 ลิตร เพื่อรักษาอายุตะกอน 30 วัน ในการคำนวณหาปริมาณการเติมถ่านกัมมันต์เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ในถังเติมอากาศที่หายไปจากระบบอันเนื่องมาจากการทิ้งตะกอนเชื้อออกจากถังเติมอากาศให้คงที่อยู่ตลอดเวลาการศึกษา คิดว่าปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เติมเท่ากับปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ที่ออกไปพร้อมกับการทิ้งตะกอนเชื้อออกจากถังเติมอากาศ ส่วนปริมาณของผงถ่านกัมมันต์ที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว ซึ่งถือว่าน้อยมากจึงไม่นำมาคิด ดังนั้นจึงคำนวณหาปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เติมได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เติม} &= F_{\text{Excess sludge}} \cdot C_C \quad \text{กรัม/วัน} \\
 \text{เมื่อ } F_{\text{Excess sludge}} &= \text{ตะกอนเชื้อส่วนเกินที่ทิ้งออกจากถังเติมอากาศ} \\
 &= 3.9 \quad \text{ลิตร/วัน} \\
 C_C &= \text{ปริมาณความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ในถังเติมอากาศ} \\
 &= 4000 \quad \text{มก./ล.} \\
 \text{ดังนั้นผงถ่านกัมมันต์ที่เติม} &= 4000 \text{ มก./ล.} \times 3.9 \text{ ลิตร/วัน} \\
 &= 15600 \text{ มก./วัน}
 \end{aligned}$$

$$= 15.6 \text{ กรัม/วัน} \quad (\text{เดิมประมาณ } 16 \text{ กรัม/วัน})$$

ในระหว่างการทดลองต้องเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ด้วยอัตราส่วนเทียบกับซีโอดีในน้ำเสียเข้าระบบอย่างน้อย คือ ซีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส = 150 : 5 : 1

การทดลองที่ 2 ดำเนินการทดลองต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1 โดยกำหนดระยะเวลาพักน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองทั้งสองชุดที่ 48.0 ชั่วโมง โดยชุดที่ 1 ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเดิมอากาศ (ชุดควบคุม) ส่วนชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก. /ล. และเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 16 กรัม ที่หายไปจากระบบอันเนื่องมาจากการทิ้งตะกอนเชื้อออกจากถังเดิมอากาศประมาณวันละ 3.9 ลิตร เพื่อรักษาอายุตะกอน 30 วัน โดยเดินระบบอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) และเพิ่มปริมาณการเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 6 กรัม (50 มก./ล.) จนมีความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. สำหรับการคำนวณหาปริมาณการเติมถ่านกัมมันต์เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ในถังเดิมอากาศที่หายไปจากระบบอันเนื่องมาจากการทิ้งตะกอนเชื้อออกจากถังเดิมอากาศให้คงที่อยู่ตลอดเวลาการศึกษา ได้ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เดิมประมาณ 16 กรัม /วันและเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ด้วยอัตราส่วนเทียบกับซีโอดีในน้ำเสียเข้าระบบเหมือนกับการทดลองที่ 1

3.5 พารามิเตอร์และความถี่ที่วิเคราะห์

น้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วถูกนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พีเอช, ออกซิเจนละลายน้ำ, เอสบี-30, ซีโอดี, บีโอดี, สารแขวนลอย, เอ็มแอลเอสเอส (MLSS), เอ็มแอลวีเอสเอส (MLVSS), ทีเคเอ็น (TKN) และฟอสฟอรัส ซึ่งวิเคราะห์ตาม Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2005) ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และความถี่ที่ทำการวิเคราะห์ตามจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
พีเอช, pH	Electrometric method
ออกซิเจนละลายน้ำ (มก. /ล.)	Membrane electrode method
เอสวี-30, SV-30 (มล./ล.)	Settled volume method
ซีโอดี, COD (มก. /ล.)	Closed reflux, titrimetric method
บีโอดี, BOD (มก. /ล.)	5-Day 20°C BOD test
สารแขวนลอย, SS (มก. /ล.)	Total suspended solid dried at 103-105 °C
MLSS (มก. /ล.)	Total suspended solid dried at 103-105 °C
MLVSS (มก. /ล.)	Fixed and volatile solid ignited at 550 °C
TKN (มก. /ล.)	Macro-Kjeldahl method
Total phosphorus (มก. /ล.)	Ascorbic acid method

ตารางที่ 3.3 ความถี่ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดตามจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง				
	ถึงปรับสภาพน้ำเสีย	ชุดที่ 1 (ชุดควบคุม)		ชุดที่ 2 (ชุดทดลอง)	
		ถังเติมอากาศ	ถังรับน้ำทิ้งจากระบบ	ถังเติมอากาศ	ถังรับน้ำทิ้งจากระบบ
พีเอช, pH	ทุกวัน	ทุกวัน	ทุกวัน	ทุกวัน	ทุกวัน
เอสวี-30, SV-30	-	ทุกวัน	-	ทุกวัน	-
ออกซิเจนละลายน้ำ	-	ทุกวัน	-	ทุกวัน	-
ซีโอดี, COD	ทุกวัน	-	ทุกวัน	-	ทุกวัน
บีโอดี, BOD	ทุกสัปดาห์	-	ทุกสัปดาห์	-	ทุกสัปดาห์
สารแขวนลอย, SS	ทุกวัน	-	ทุกวัน	-	ทุกวัน
MLSS	-	ทุกวัน	-	ทุกวัน	-
MLVSS	-	ทุกสัปดาห์	-	ทุกสัปดาห์	-
TKN	หนึ่งครั้ง	-	-	-	-
Total phosphorus	หนึ่งครั้ง	-	-	-	-

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษานี้ได้ทำการหาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ย่อยสลายยากในรูปของซีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดทางเคมีของโรงงานผลิตสีทาบ้าน ด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์มเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม และหาค่าใช้จ่ายของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของระบบที่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์มเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ที่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม (fixed film aeration process) เปรียบเทียบกับการไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม โดยมีผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน

ผลการวิเคราะห์ของคุณลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีรายละเอียดตามภาคผนวก ข และภาคผนวก ค โดยมีค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านที่นำมาใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2
พีเอช, pH	6.9 ± 0.2	7.3 ± 0.2
ซีโอดี, COD (มก. /ล.)	1026.0 ± 191.2	942.1 ± 136.6
บีโอดี, BOD (มก. /ล.)	414.5 ± 10.6	552.7 ± 105.1
สารแขวนลอย, SS (มก. /ล.)	78.8 ± 64.5	36.8 ± 57.4
TKN (มก. /ล.)	35.0	-
Total phosphorus (มก. /ล.)	0.01	-

จากผลการวิเคราะห์ของคุณลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ จะเห็นว่าสัดส่วนของค่าความสกปรกในรูปของบีโอดีต่อค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีมีค่าเฉลี่ย 0.40 สำหรับการทดลองที่ 1 และมีค่าเฉลี่ย 0.59 สำหรับการทดลองที่ 2 ซึ่งถือได้ว่ามีค่าต่ำ และมีสัดส่วนของค่าซีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส เท่ากับ 150 : 5.1 : 0.002 จะเห็นว่าปริมาณของฟอสฟอรัสของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านที่นำมาใช้ในการทดลองมีค่าต่ำมาก จึงต้องมีการเติมกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เพื่อให้มีสัดส่วนประมาณ 150 : 5.1 : 1

4.2 ผลการทดลองหาไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm)

การทดลองชุดนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีโอดีที่ถูกดูดซับไปกับความเข้มข้นของซีโอดีที่เหลืออยู่ ตามวิธี Standard practice for determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique ซึ่งจะได้กราฟที่เรียกว่า adsorption isotherm และจะเป็นไปตามสมการของ Freundlich หรือ Langmuir ที่กล่าวถึงโดย Metcalf & Eddy (2003)

4.2.1 ผลการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน

เมื่อเติมน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านลงในขวดปริมาตรขนาด 500 ม.ล. 10 ใบ ใบละ 100 ม.ล. จากนั้นเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0 และ 20.0 กรัม ลงไปในขวด ทำให้ได้ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 20000, 50000, 100000 และ 200000 มก./ล. ตามลำดับ นำขวดต่างๆ ไปเข้าเครื่องกวนผสม ณ อุณหภูมิห้อง โดยใช้ระยะเวลาสัมผัส 2 ชั่วโมง และนำตัวอย่างที่ผ่านการกวนผสมแล้วไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ของ Whatman แล้วนำน้ำที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาค่าซีโอดี และคำนวณหา x/m จากสมการ $x/m = (C_0 - C_e) V/m$ ดังตารางที่ 4.2

โดย x/m = ปริมาณของซีโอดีที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของผงถ่านกัมมันต์ (มก./ก.)

C_0 = ความเข้มข้นของซีโอดีก่อนการดูดซับ (มก./ล.)

C_e = ความเข้มข้นของซีโอดีหลังการดูดซับ (มก./ล.)

V = ปริมาตรของตัวอย่างที่นำมาทดลอง (มล.)

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ถูกดูดซับไปกับความเข้มข้นของสารที่เหลืออยู่ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน

(V) Solution sample volume (ml)	(m) Grams of carbon (g)	(C _e) COD Concentration remaining in solution (mg/l)	(C _e). (V) COD Constituent remaining in solution (mg)	(x) COD Constituent absorbed (mg)	(x/m) (mg/g)	(C _e) / (x/m) (g/l)
100	0.00	1113	111.3	0.0	-	-
100	0.05	857	85.7	25.6	512.00	1.67
100	0.10	699	69.9	41.4	414.00	1.69
100	0.20	534	53.4	57.9	289.50	1.85
100	0.50	384	38.4	72.9	145.80	2.63
100	1.00	323	32.3	79.0	79.00	4.10
100	2.00	250	25.0	86.3	43.15	5.79
100	5.00	185	18.5	92.8	18.56	9.97
100	10.00	140	14.0	97.3	9.73	14.39
100	20.00	99	9.9	101.4	5.07	19.53

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 เมื่อนำมาหา adsorption isotherm ตามสมการของ Freundlich และ Langmuir ได้ดังนี้

1. Freundlich adsorption isotherm equation

$$x/m = K_f C_e^{1/n}$$

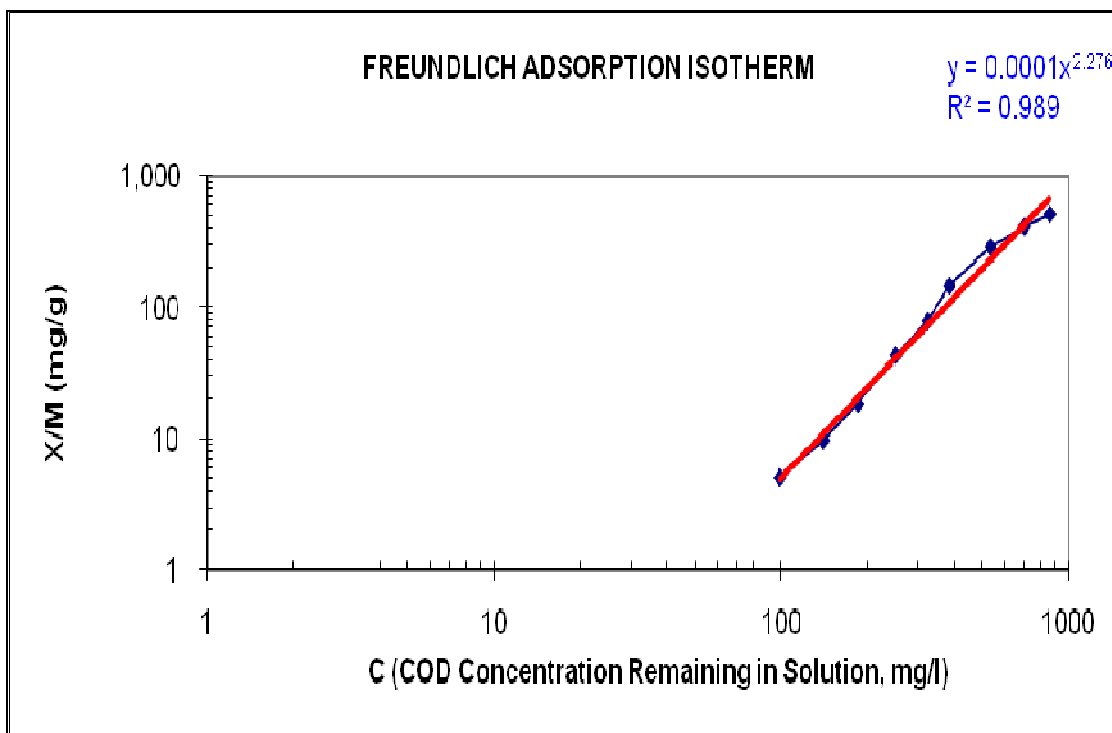
และสมการนี้อาจเขียนได้เป็น

$$\text{Log}(x/m) = \text{Log } K_f + 1/n \text{ Log } C_e$$

เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง x/m กับค่า C_e บนกระดาษกราฟลอการิทึมจะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ ดังรูปที่ 4.1 และได้สมการ (4.1)

$$x/m = 0.0001 C_e^{2.2762} \quad (4.1)$$

โดยมีค่า $R^2 = 0.9890$



รูปที่ 4.1 Freundlich adsorption isotherm แสดงการดูดซับซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมี

2. Langmuir adsorption isotherm equation

$$\frac{x}{m} = \frac{ab C_e}{1 + bC_e}$$

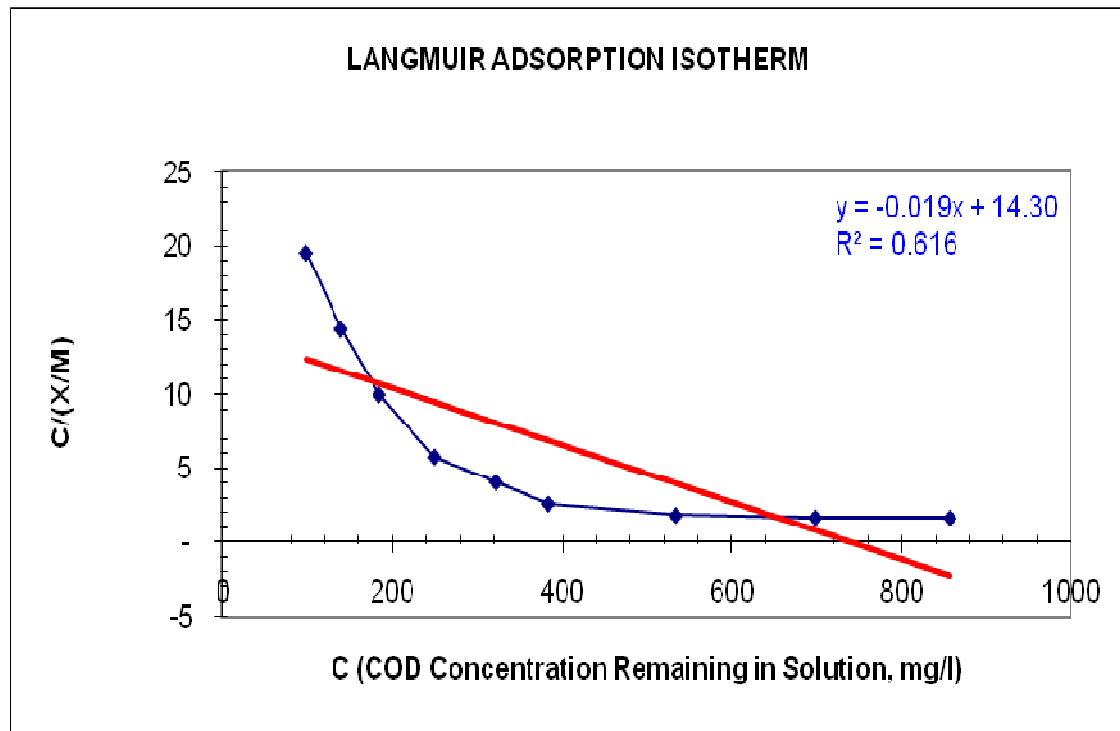
และสมการนี้อาจเขียนได้เป็น

$$\frac{C_e}{(x/m)} = \frac{1}{ab} + \frac{C_e}{a}$$

เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง ระหว่าง $C_e / (x/m)$ กับ C_e ดังรูปที่ 4.2 และได้สมการ (4.2)

$$\frac{C_e}{(x/m)} = -0.019 C_e + 14.30 \quad (4.2)$$

โดยมีค่า $R^2 = 0.616$



รูปที่ 4.2 Langmuir adsorption isotherm แสดงการดูดซับซีไอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสีย ที่ผ่านการบำบัดทางเคมี

จากการทดลอง หาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีไอดีของ ถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) ของ Freundlich adsorption isotherm มีค่าเท่ากับ 0.9890 ซึ่งสูงกว่าของ Langmuir adsorption isotherm ดังนั้นจึงเลือกใช้สมการของ Freundlich

$$x/m = 0.0001 C_e^{2.2762} \quad (4.1)$$

จากสมการพบว่า ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีไอดี ใน ตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านได้ 5.4 มก. เมื่อความเข้มข้น ซีไอดีที่เหลืออยู่ในน้ำเสียเท่ากับ 120 มก./ล. และค่าคงที่ K_f และ $1/n$ มีค่าเท่ากับ 0.0001 และ 2.2762 ($n = 0.4393$) ตามลำดับ โดย McKay และคณะ (1982 อ้างถึงใน Melgoza-Aleman และ Morales-Guzman, 2009) ได้แนะนำว่า ค่าคงที่ n ที่แสดงถึงการดูดซับได้ควมมีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 10 ดังนั้นจาก การทดลองจะเห็นว่าความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีไอดีในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่าน การบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านของผงถ่านกัมมันต์มีค่าต่ำมาก

4.2.2 ผลการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน

เมื่อนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านมาทำการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ เช่นเดียวกับการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านในหัวข้อ 4.2.1 และคำนวณหา x/m จากสมการ $x/m = (C_0 - C_e) V/m$ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ถูกดูดซับไปกับความเข้มข้นของสารที่เหลืออยู่ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน

(V) Solution sample volume (ml)	(m) Grams of carbon (g)	(C _e) COD Concentration remaining in solution (mg/l)	(C _e).(V) COD Constituent remaining in solution (mg)	(x) COD Constituent absorbed (mg)	(x/m) (mg/g)	(C _e) / (x/m) (g/l)
100	0.00	243	24.3	0.0	-	-
100	0.05	227	22.7	1.6	32.00	7.09
100	0.10	216	21.6	2.7	27.00	8.00
100	0.20	196	19.6	4.7	23.50	8.34
100	0.50	141	14.1	10.2	20.40	6.91
100	1.00	102	10.2	14.1	14.10	7.23
100	2.00	48	4.8	19.5	9.75	4.92
100	5.00	17	1.7	22.6	4.52	3.76
100	10.00	5	0.5	23.8	2.38	2.10
100	20.00	2	0.2	24.1	1.21	1.66

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 เมื่อนำมาหา adsorption isotherm ตามสมการของ Freundlich และ Langmuir ได้ดังนี้

1. Freundlich adsorption isotherm equation

$$x/m = K_f C_e^{1/n}$$

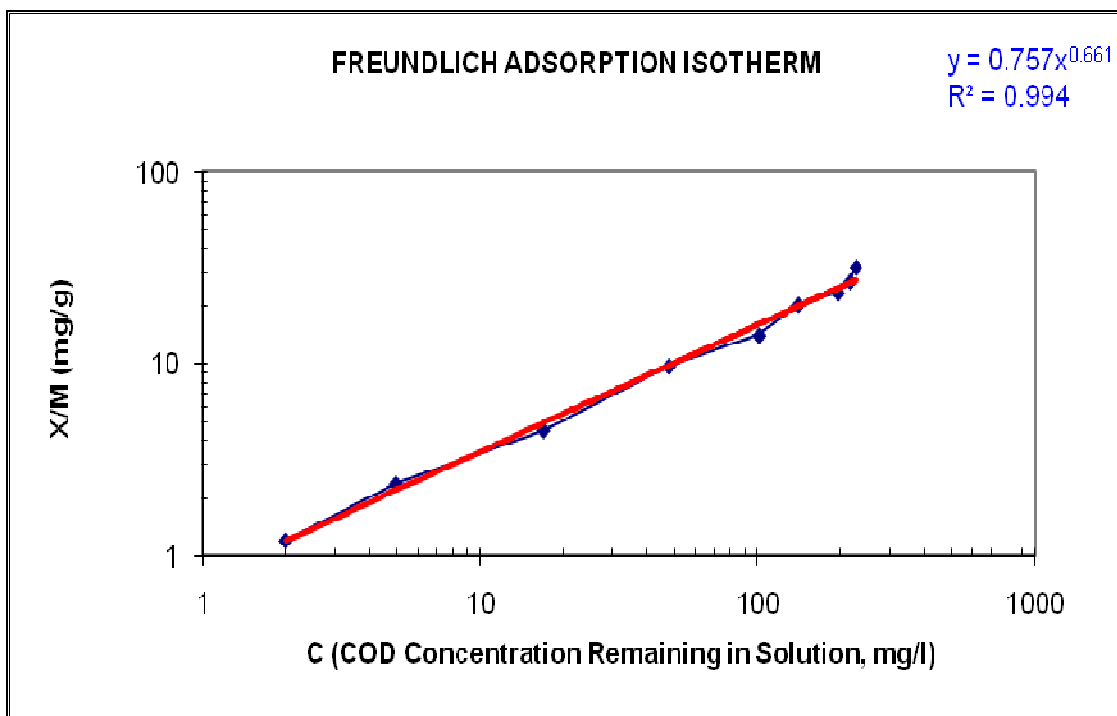
และสมการนี้อาจเขียนได้เป็น

$$\text{Log}(x/m) = \text{Log } K_f + 1/n \text{ Log } C_e$$

เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง x/m กับค่า C บนกระดาษกราฟลอการิทึมจะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ ดังรูปที่ 4.3 และได้สมการ (4.3)

$$x/m = 0.7571 C_e^{0.6614} \quad (4.3)$$

$$\text{โดยมีค่า } R^2 = 0.9944$$



รูปที่ 4.3 Freundlich adsorption isotherm แสดงการดูดซับซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพ

2. Langmuir adsorption isotherm equation

$$x/m = ab C_e / (1 + b C_e)$$

และสมการนี้อาจเขียนได้เป็น

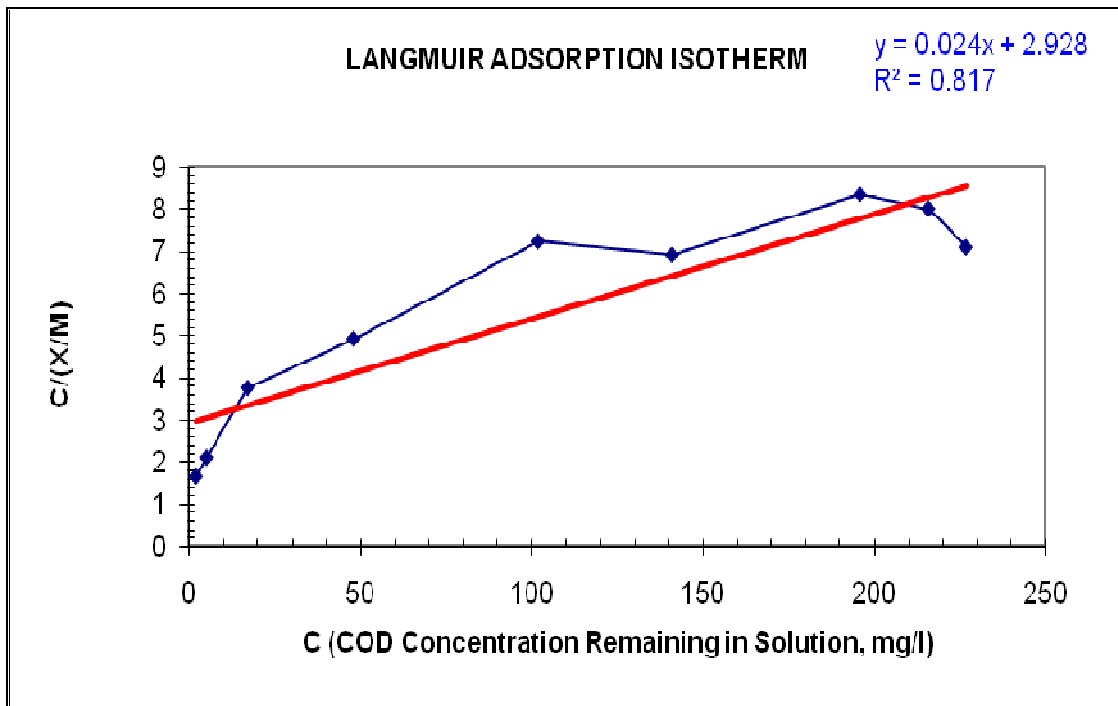
$$C_e / (x/m) = (1/ab) + (C_e/a)$$

เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง $C_e / (x/m)$ กับ C_e ดังรูปที่ 4.4 และได้สมการ

(4.4)

$$C_e/(x/m) = 0.024C_e + 2.928 \quad (4.4)$$

โดยมีค่า $R^2 = 0.817$



รูปที่ 4.4 Langmuir adsorption isotherm แสดงการดูดซับซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพ

จากการทดลอง หาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) ของ Freundlich adsorption isotherm มีค่าเท่ากับ 0.9944 ซึ่งสูงกว่าของ Langmuir adsorption isotherm ดังนั้นจึงเลือกใช้สมการของ Freundlich

$$x/m = 0.7571 C_e^{0.6614} \quad (4.3)$$

จากสมการของ Freundlich พบว่า ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านได้ 18.0 มก. เมื่อความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสียที่เหลืออยู่เท่ากับ 120 มก./ล. และค่าคงที่ K_f และ $1/n$ เท่ากับ 0.7571 และ 0.6614 ($n = 1.5119$) ตามลำดับ โดย McKay และคณะ (1982 อ้างถึงใน Melgoza-Aleman และ Morales-Guzman, 2009) ได้แนะนำว่า ค่าคงที่ n ที่แสดงถึงการดูดซับได้มีค่าอยู่ระหว่าง 2 และ 10 ดังนั้นจากการทดลองจะเห็นว่าความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของ

ซีโอดีในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านของผงถ่านกัมมันต์ ยังถือว่ามียูเอค่าค่อนข้างต่ำ และได้นำไปใช้ประเมินความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในถังเติมอากาศชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์} &= \frac{(243-120)\text{มก.ซีโอดี/ล.น้ำเสีย}}{18\text{มก.ซีโอดี/ก.ถ่านกัมมันต์}} \\ &= 6848 \quad \text{มก./ล.} \end{aligned}$$

ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในถังเติมอากาศชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) ไม่ควรเกิน 6848 มก./ล. จึงเลือกใช้ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล.

4.3 ผลการทดลองของระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่เติมผงถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสารอินทรีย์

การทดลองชุดนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม (fixed film aeration process) ที่เติมผงถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีที่ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ

การทดลองที่ 1 ดำเนินการทดลองโดยกำหนดระยะเวลาพักน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองทั้งสองชุดที่ 48 ชั่วโมง โดยชุดที่ 1 (ชุดควบคุม) ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเติมอากาศ ส่วนชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) เติมผงถ่านกัมมันต์ 480 กรัม (4000 มก./ล.) ซึ่งความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่เลือกใช้ ได้จากผลการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน โดยเดินระบบอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) และเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 16 กรัม ที่หายไปจากระบบอันเนื่องมาจากการทิ้งตะกอนเชื้อออกจากถังเติมอากาศประมาณวันละ 3.9 ลิตร เพื่อรักษาอายุตะกอน 30 วัน ผลการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) สภาวะในถังเติมอากาศ และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว แสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ซึ่งค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านเท่ากับ 979.3 ± 217.3 มก./ล. ส่วนค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 221.6 ± 28.1 มก./ล. และค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 168.3 ± 22.0 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) แล้ว 20 วัน คือ ช่วงวันที่ 17 มกราคม ถึงวันที่ 5

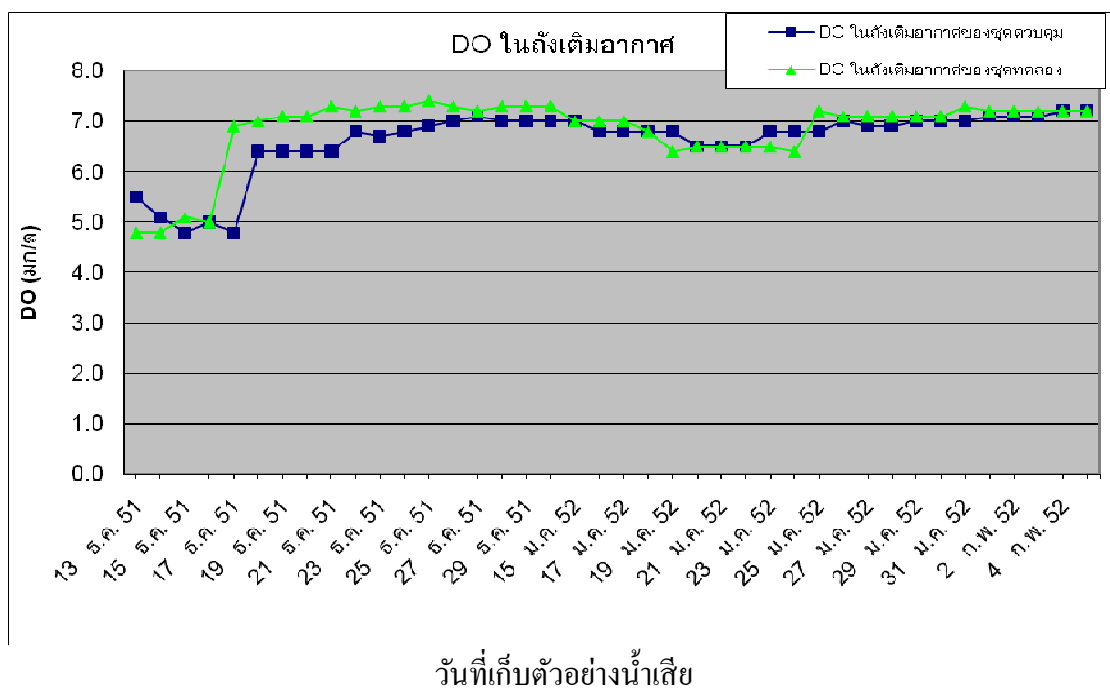
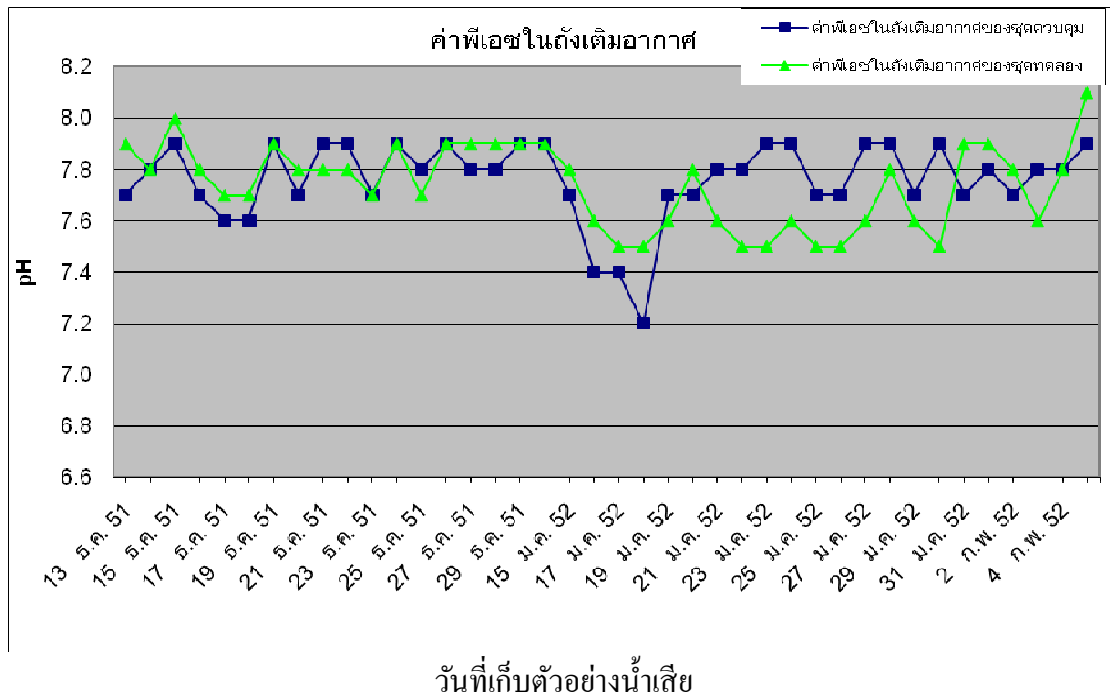
กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 (ดูรายละเอียดผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการทดลองที่ 1 จากภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเติมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง

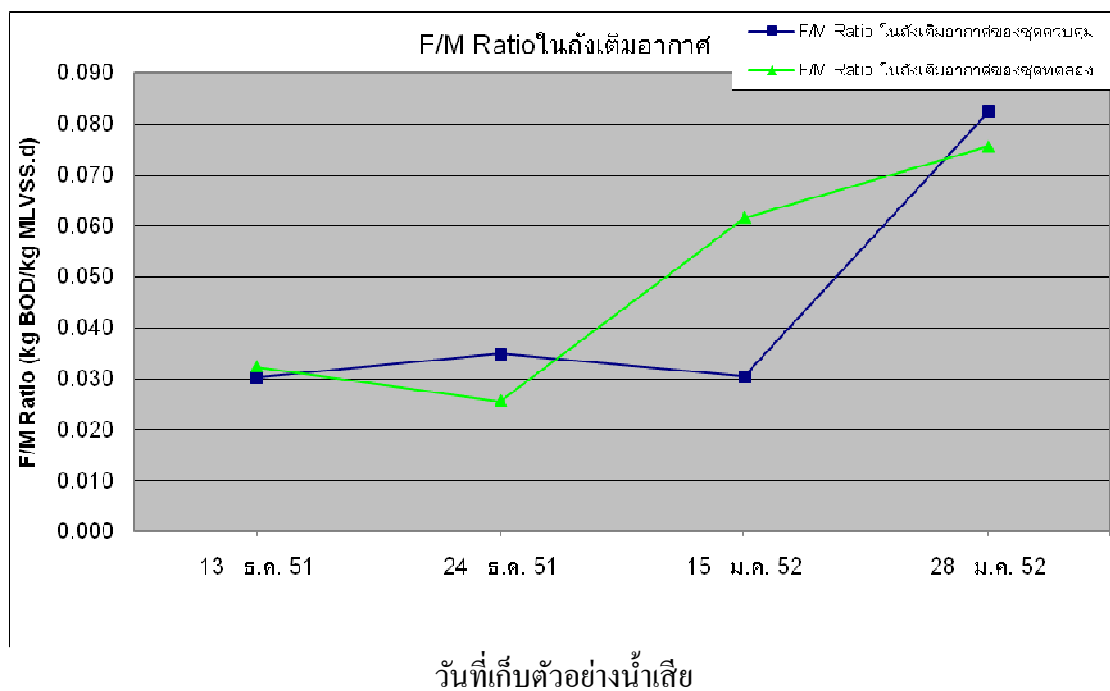
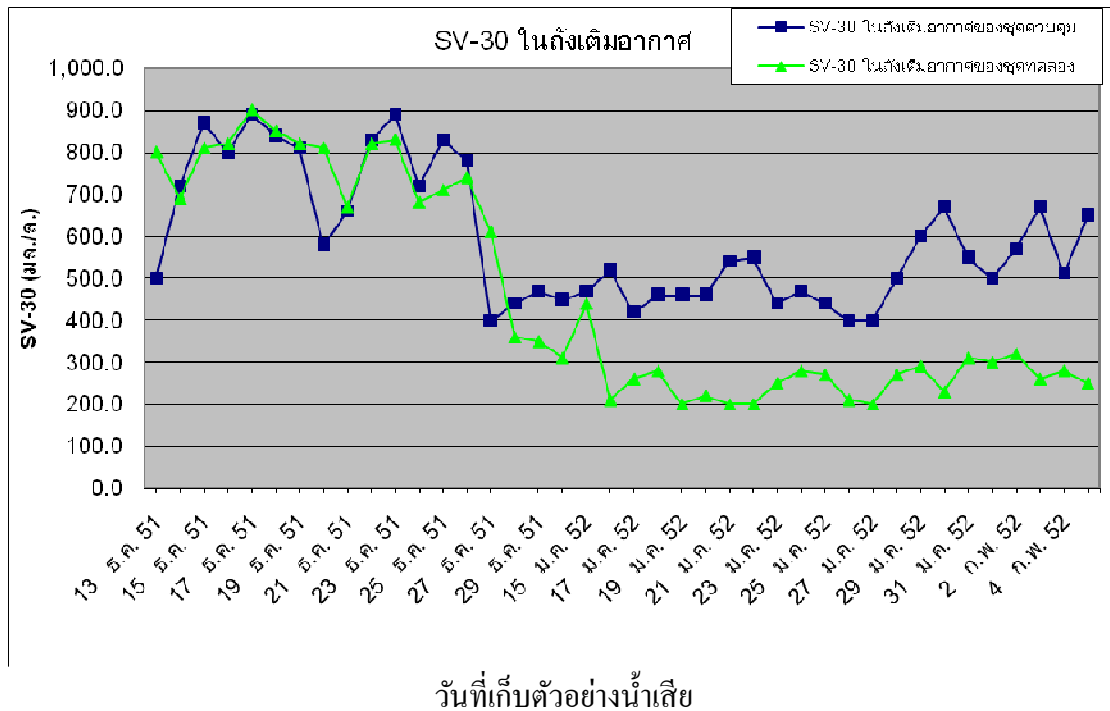
ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย			พารามิเตอร์							
			pH	DO	SV-30	COD	BOD	SS	MLSS	MLVSS
น้ำเสียเข้าระบบ		เฉลี่ย	6.9	-	-	979.3	414.5	95.5	-	-
		S.D	0.2	-	-	217.3	-	73.7	-	-
สถานะในถังเติมอากาศ	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์	เฉลี่ย	7.7	6.9	513.0	-	-	-	3,382	5,493
		S.D	0.2	0.2	85.2	-	-	-	856	-
	เติมผงถ่านกัมมันต์	เฉลี่ย	7.7	6.9	245.0	-	-	-	3,979	5,096
		S.D	0.2	0.3	39.0	-	-	-	704	-
น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์	เฉลี่ย	-	-	-	221.6	5.0	29.8	-	-
		S.D	-	-	-	28.1	-	16.2	-	-
	เติมผงถ่านกัมมันต์	เฉลี่ย	-	-	-	168.3	3.6	19.3	-	-
		S.D	-	-	-	22.0	-	7.7	-	-

หมายเหตุ : พารามิเตอร์อื่นๆ ยกเว้น pH และ SV-30 มีหน่วย มก./ล.

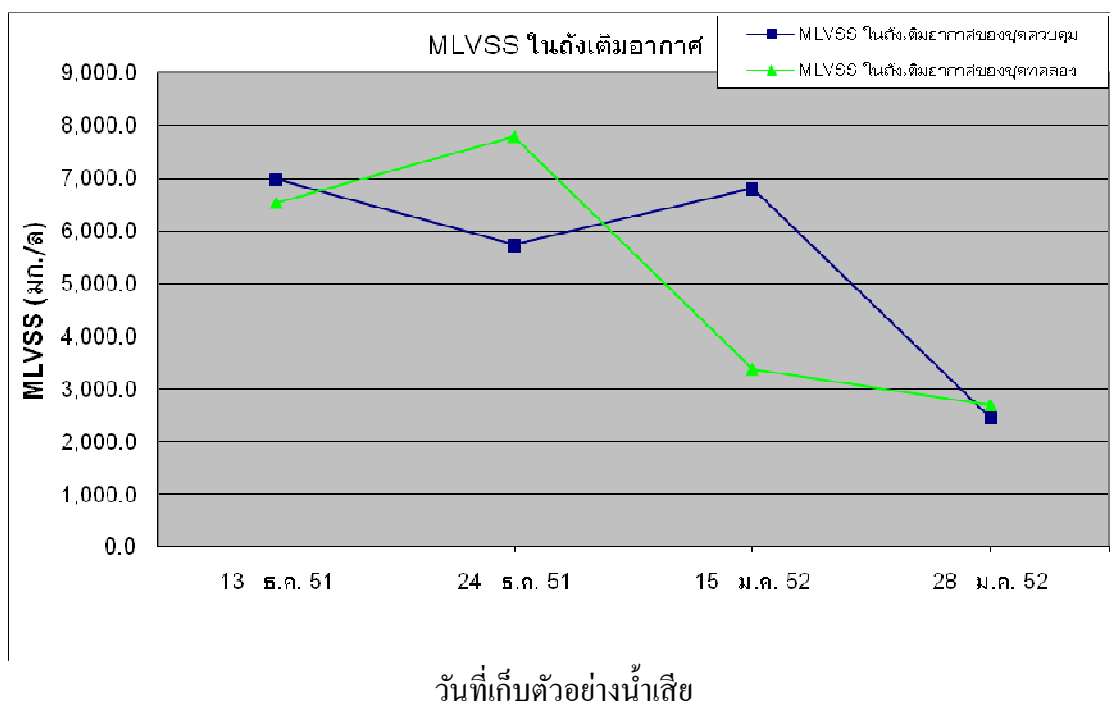
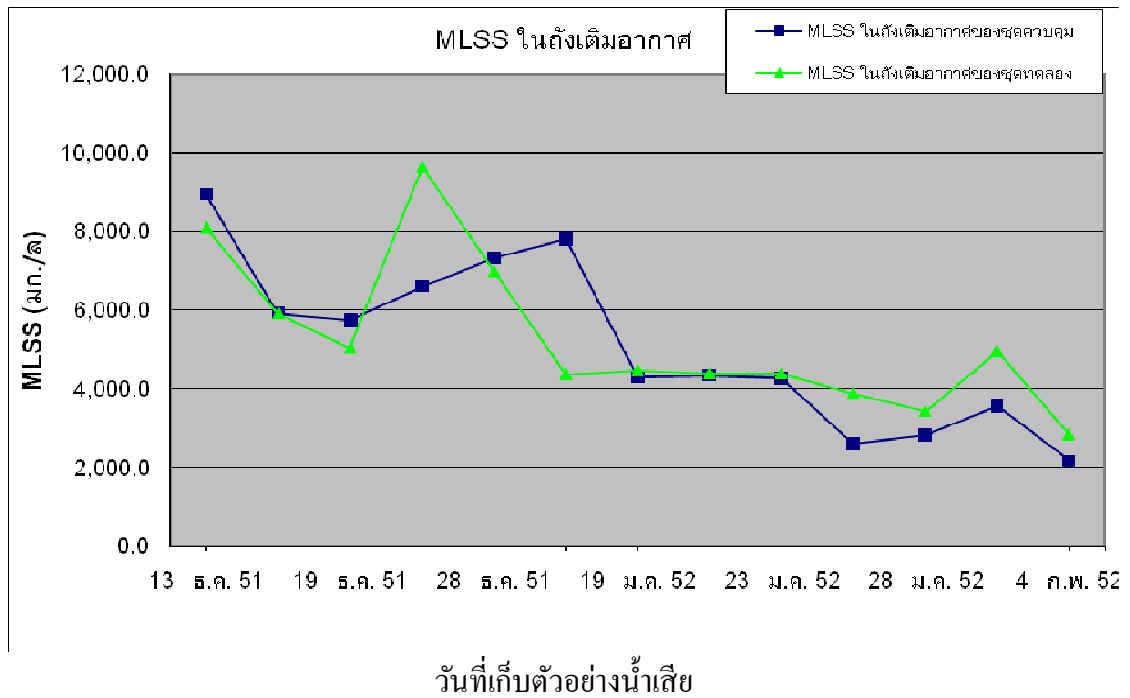
SV-30 มีหน่วย มล./ล.



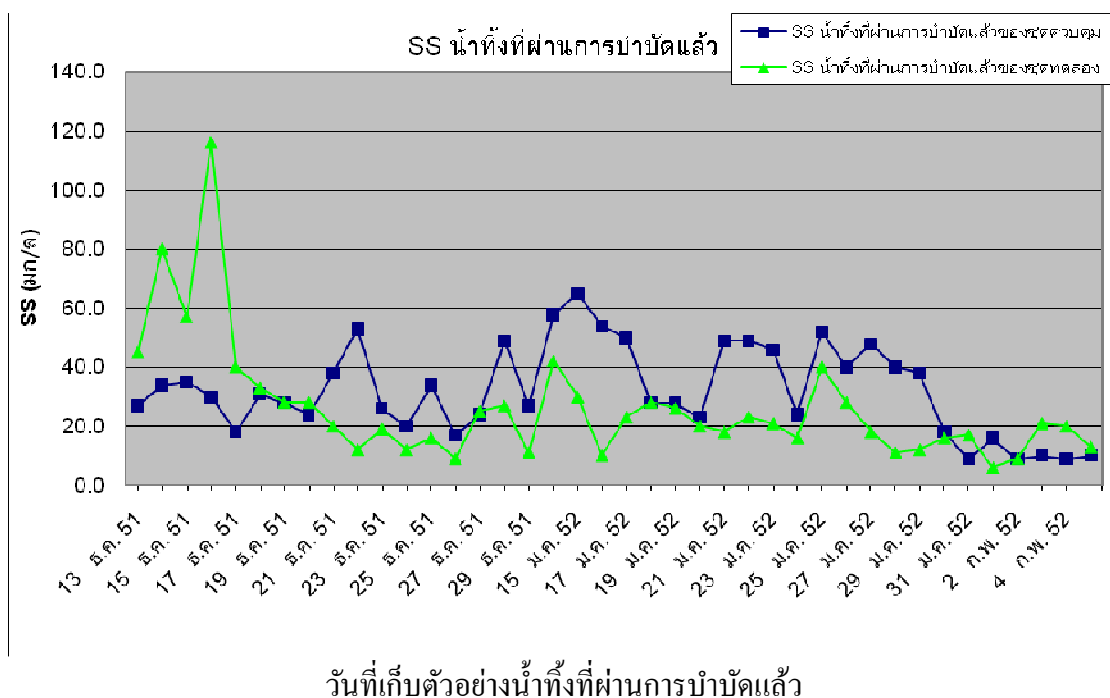
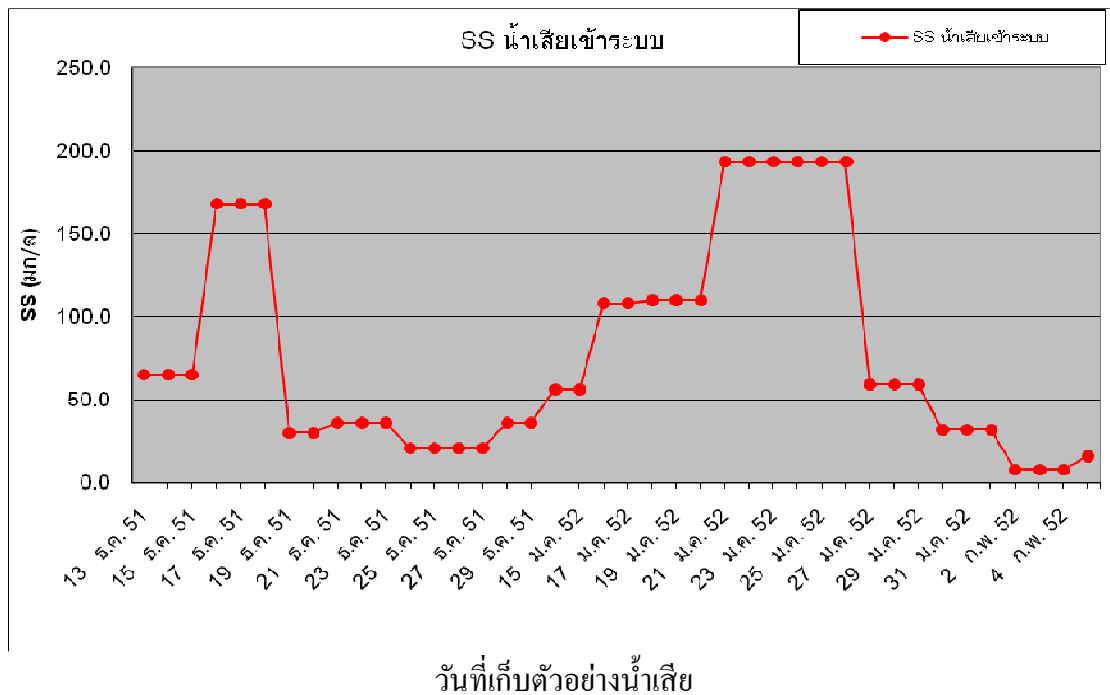
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆในน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเติมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง



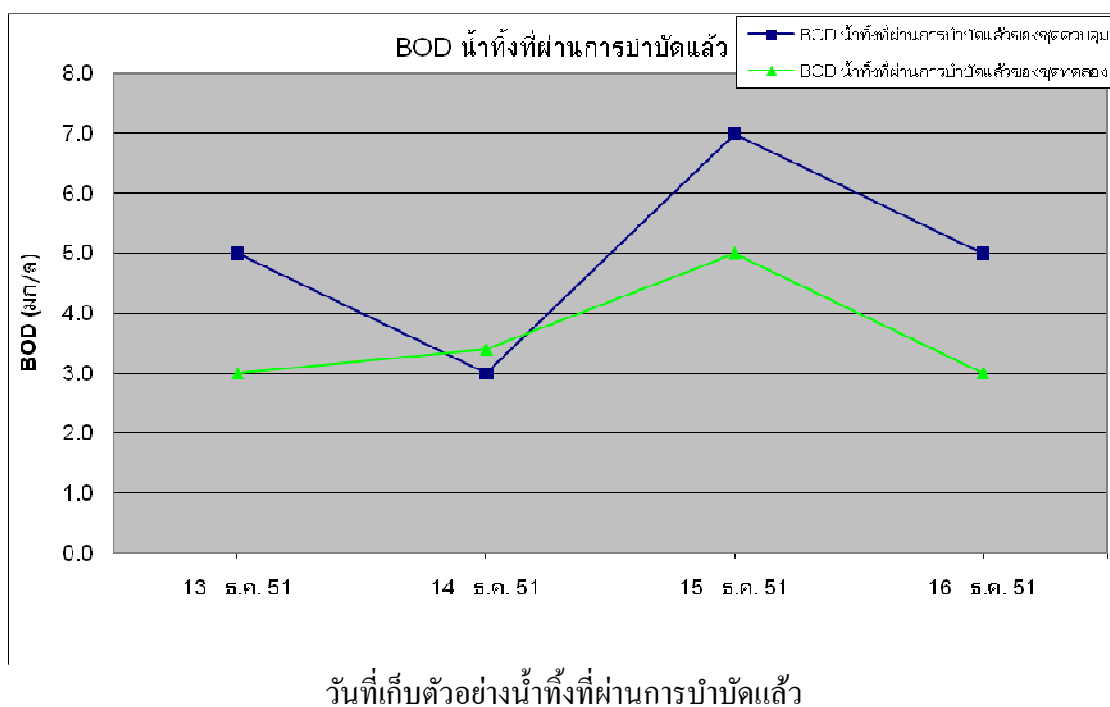
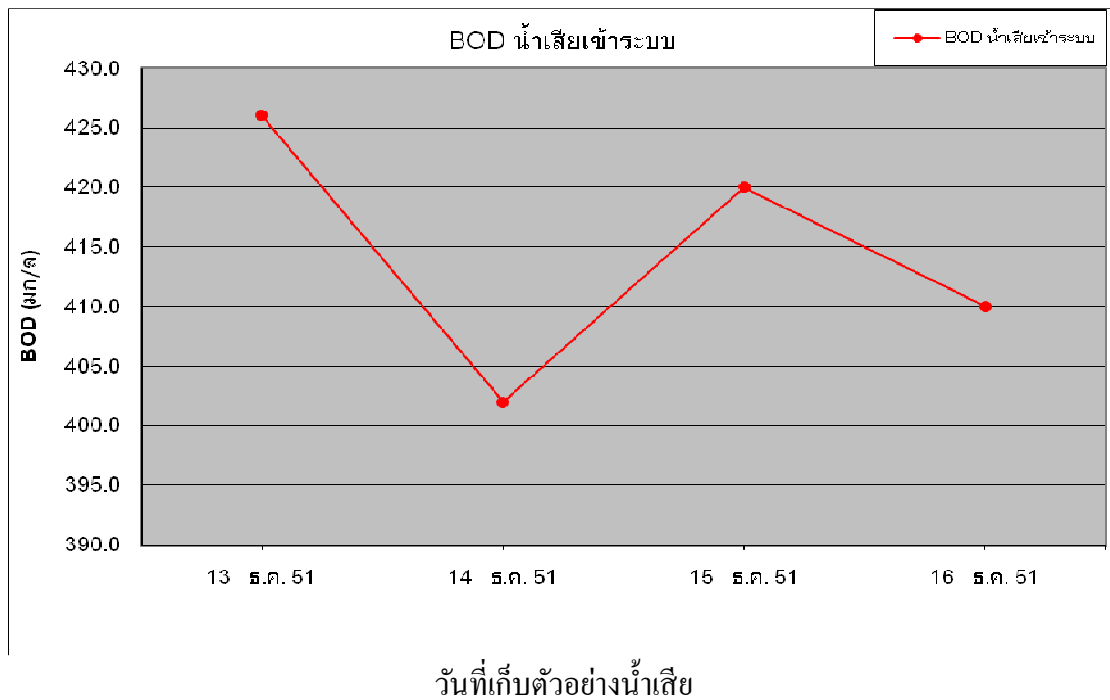
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆในน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเติมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง (ต่อ)



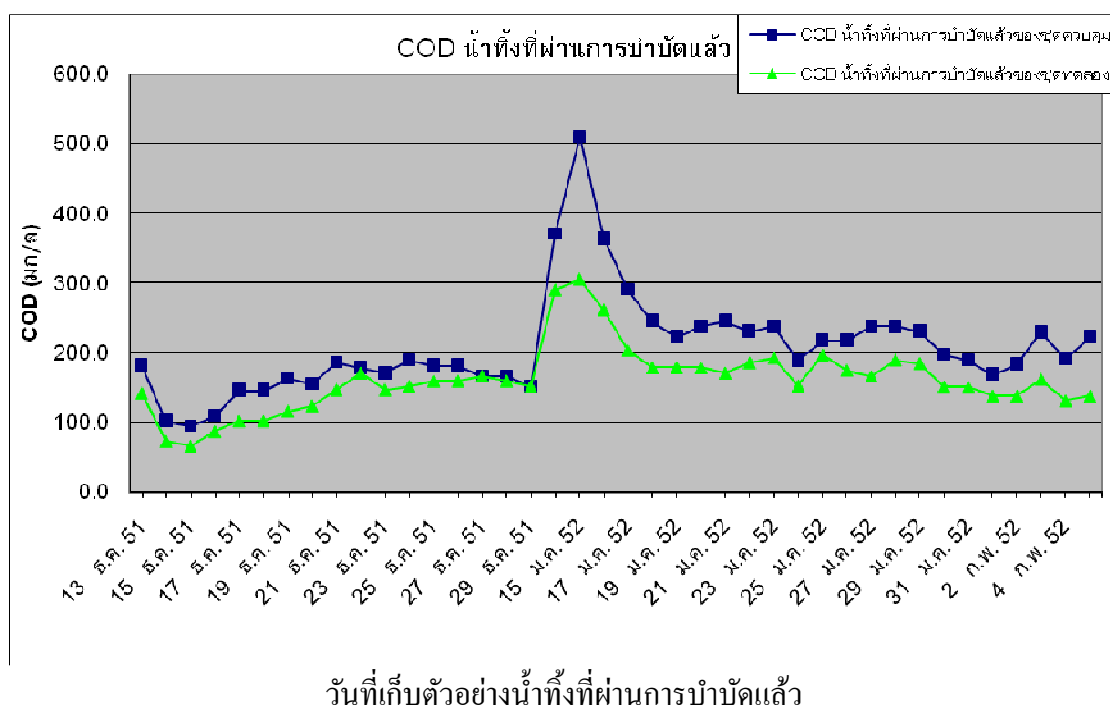
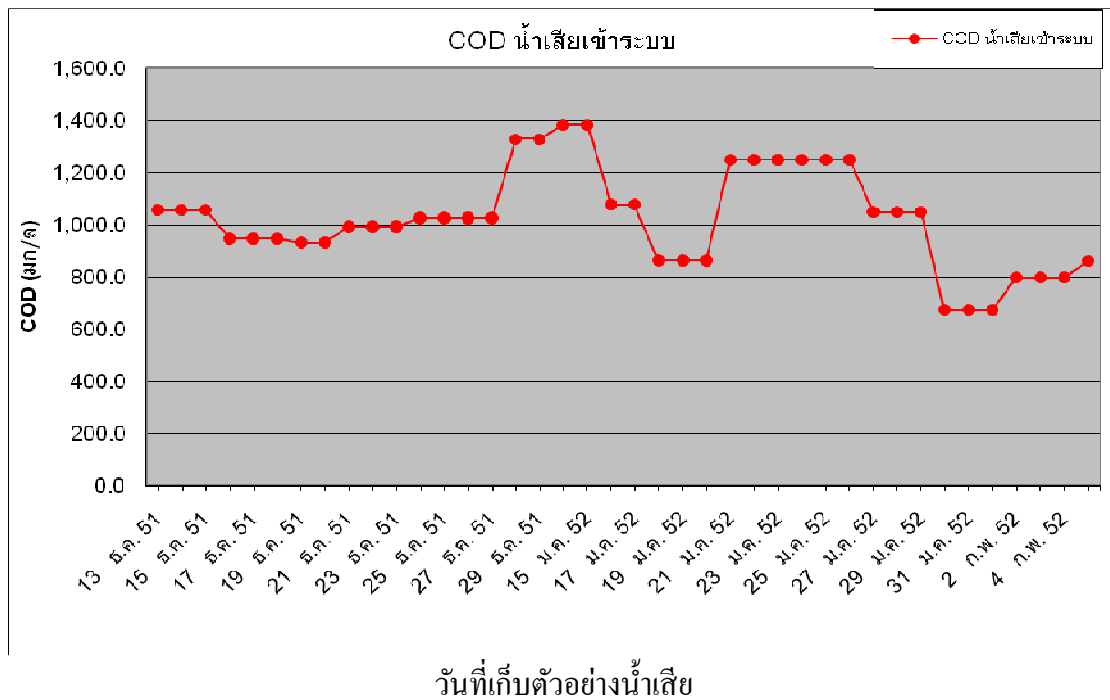
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆในน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเติมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง (ต่อ)



รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆในน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเติมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง (ต่อ)



รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเดิมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเดิมอากาศ 48 ชั่วโมง (ต่อ)



รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆในน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเติมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง (ต่อ)

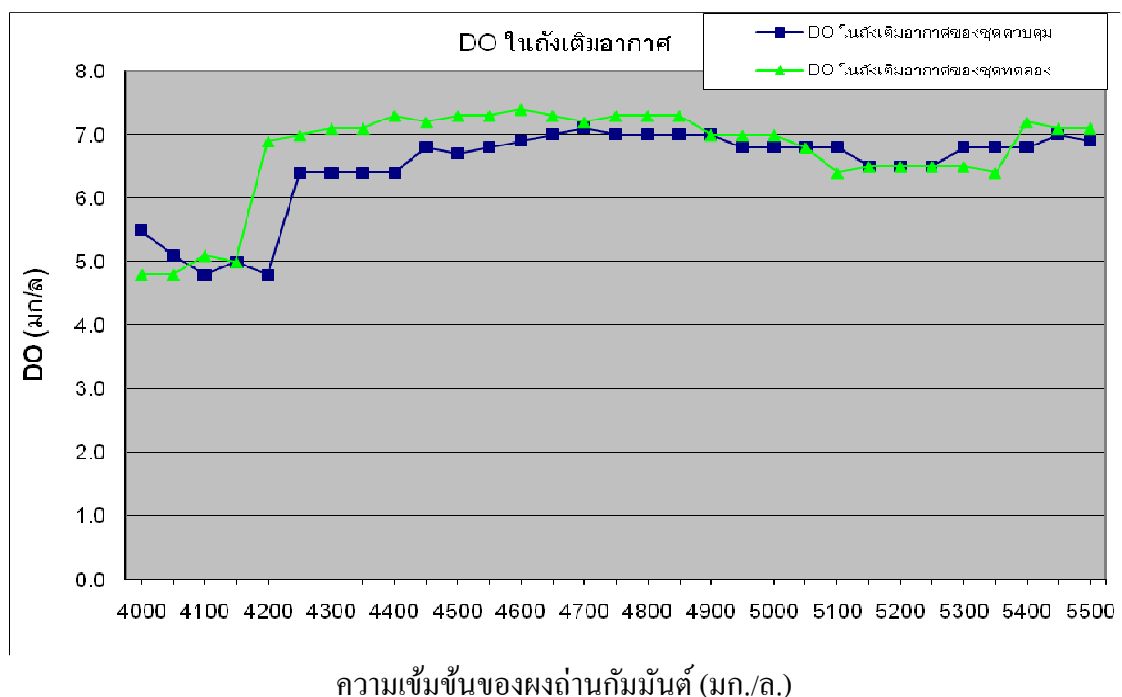
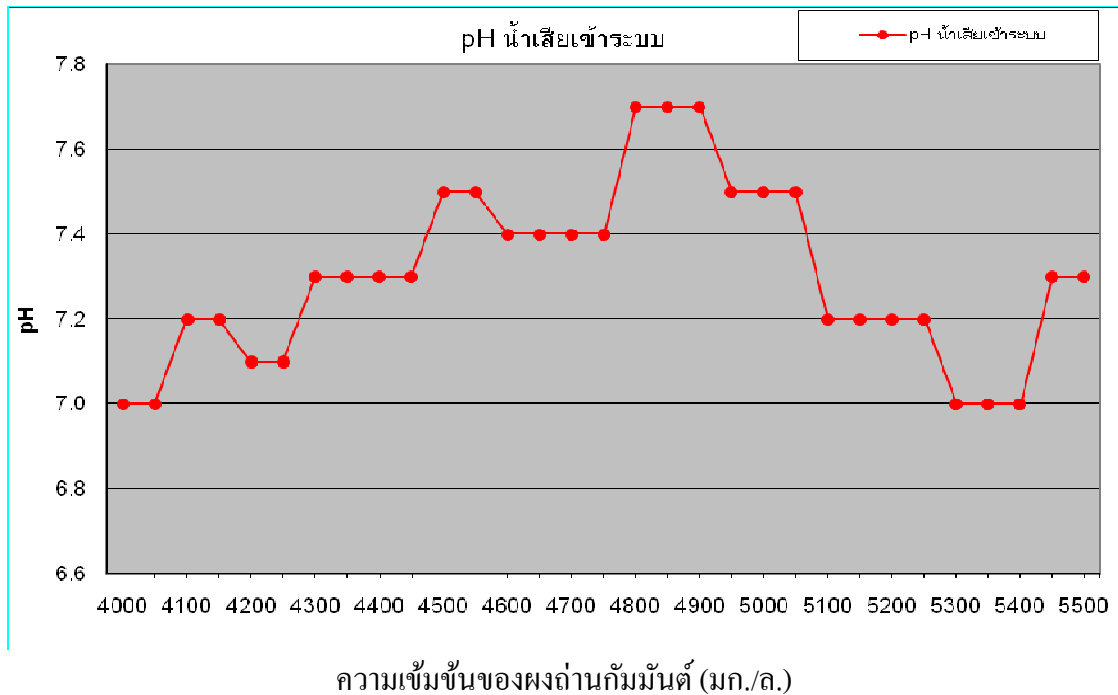
การทดลองที่ 2 ดำเนินการทดลองต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1 โดยกำหนดระยะเวลาพักน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองทั้งสองชุดที่ 48.0 ชั่วโมง โดยชุดที่ 1 ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเดิมอากาศ (ชุดควบคุม) ส่วนชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. และเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 16 กรัม ที่หายไปจากระบบอันเนื่องมาจากการทิ้งตะกอนเชื้อออกจากถังเดิมอากาศประมาณวันละ 3.9 ลิตร เพื่อรักษาอายุตะกอน 30 วัน โดยเดินระบบอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) และเพิ่มปริมาณการเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 6 กรัม (50 มก./ล.) จนมีความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. ผลการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) สภาวะในถังเดิมอากาศ และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว แสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ซึ่งค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านเท่ากับ 942.1 ± 136.6 มก./ล. ส่วนค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 253.6 ± 67.6 มก./ล. และค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ปริมาณการเติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. เท่ากับ 215.0, 174.0, 171.0 และ 146.0 มก./ล. ตามลำดับ (ดูรายละเอียดผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองที่ 2 จากภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4.5 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเติมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง

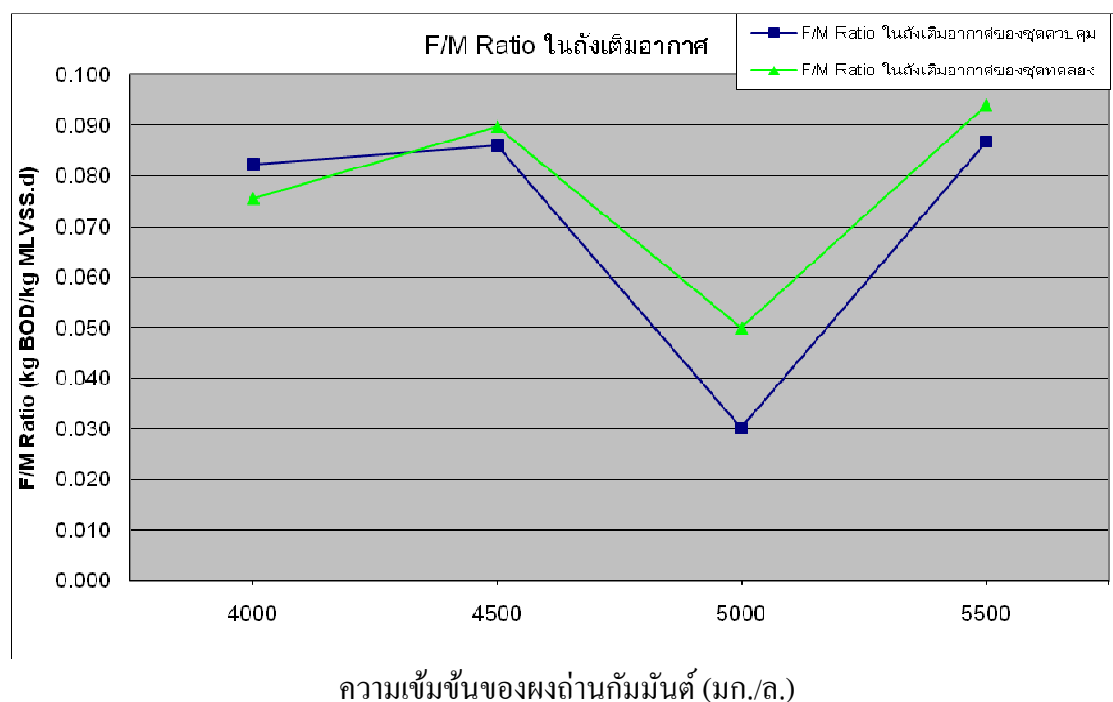
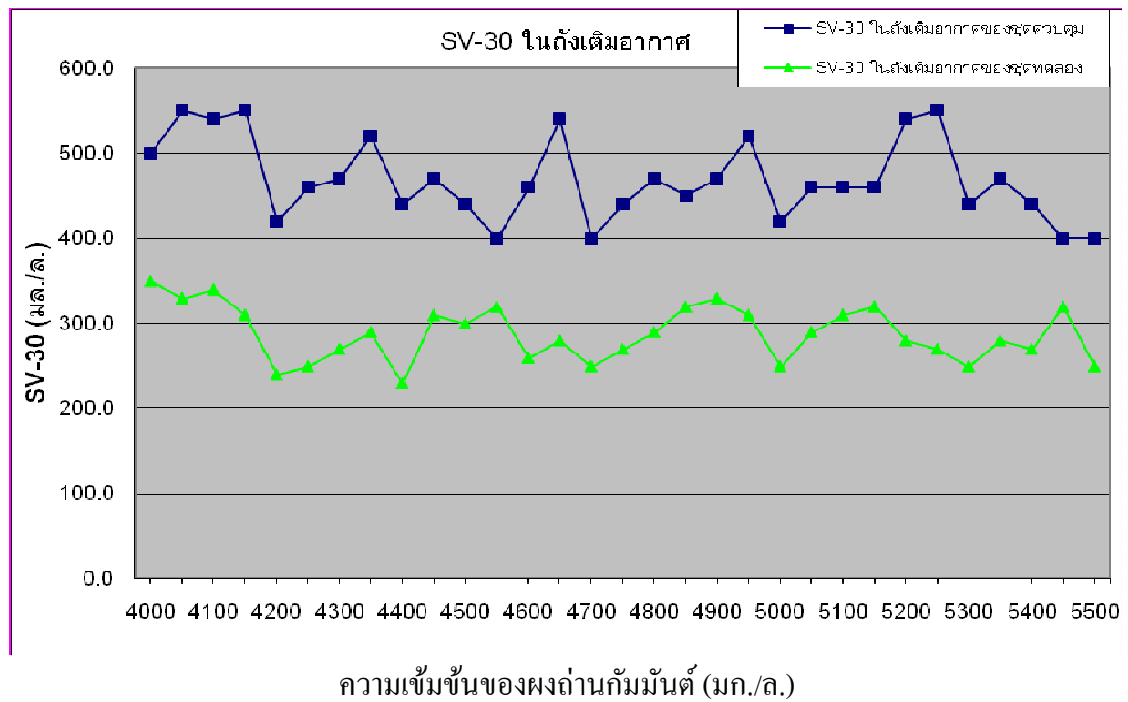
ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย		พารามิเตอร์							
		pH	DO	SV-30	COD	BOD	SS	MLSS	MLVSS
น้ำเสียเข้าระบบ	เฉลี่ย	7.3	-	-	942.1	552.7	36.8	-	-
	S.D	0.2	-	-	136.6	-	57.4	-	-
สถานะในถังเติมอากาศ	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์	เฉลี่ย	7.9	6.5	469.4	-	-	2,859	2,086
		S.D	0.2	0.7	48.2	-	-	280.1	-
	เติมผงถ่านกัมมันต์ (มก./ล.)	4000	8.1	4.8	350.0	-	-	3,085	-
		4500	8.2	7.3	300.0	-	-	3,424	2,710
		5000	8.0	7.0	250.0	-	-	3,152	2,790
		5500	8.0	7.1	250.0	-	-	3,730	3,242
	น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์	เฉลี่ย	-	-	253.6	15.3	-	-
			S.D	-	-	67.6	-	-	-
		เติมผงถ่านกัมมันต์ (มก./ล.)	4000	-	-	215.0	-	-	-
			4500	-	-	174.0	15.0	-	-
			5000	-	-	171.0	5.3	-	-
			5500	-	-	146.0	7.8	-	-

หมายเหตุ : พารามิเตอร์อื่นๆ ยกเว้น pH และ SV-30 มีหน่วย มก./ล.

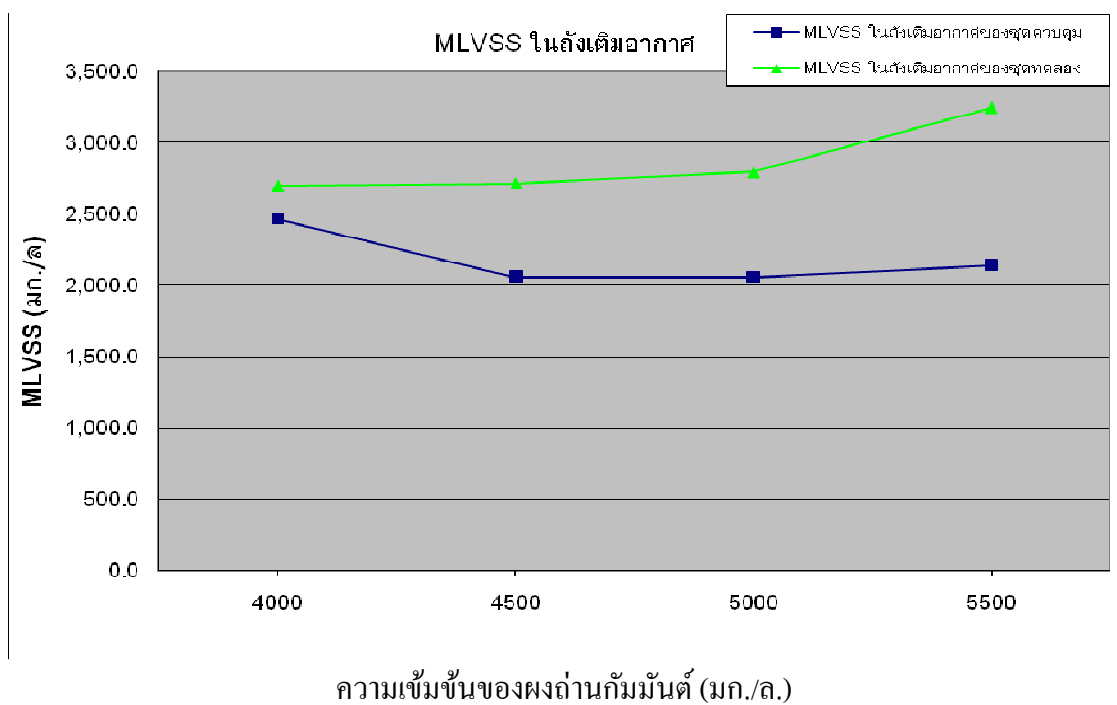
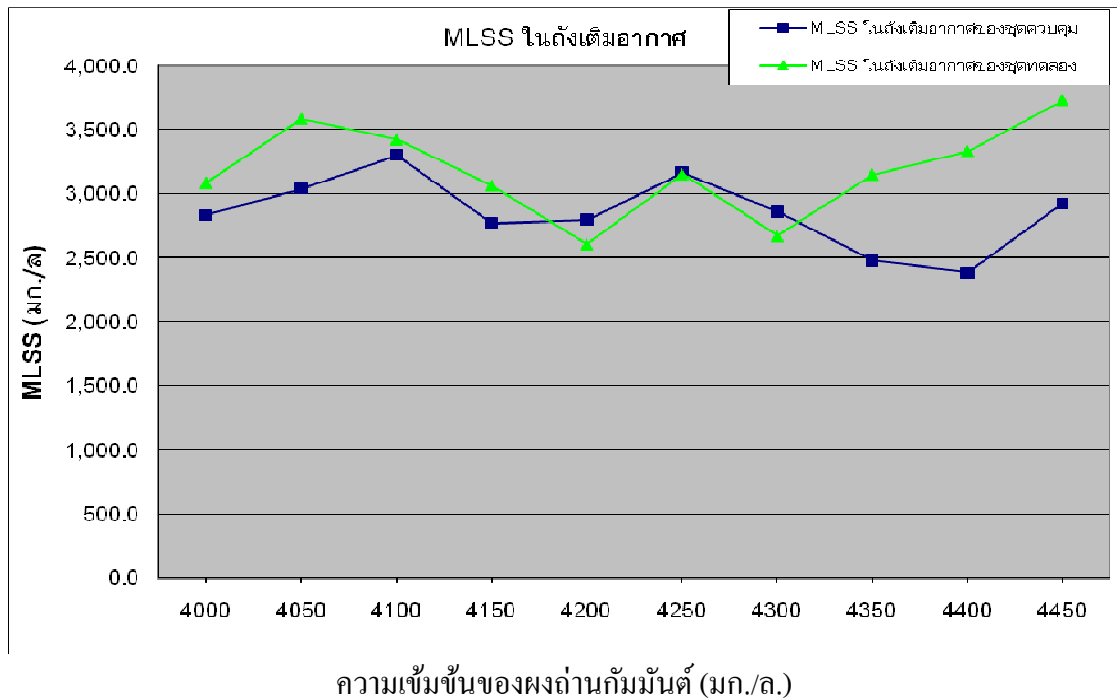
SV-30 มีหน่วย มล./ล.



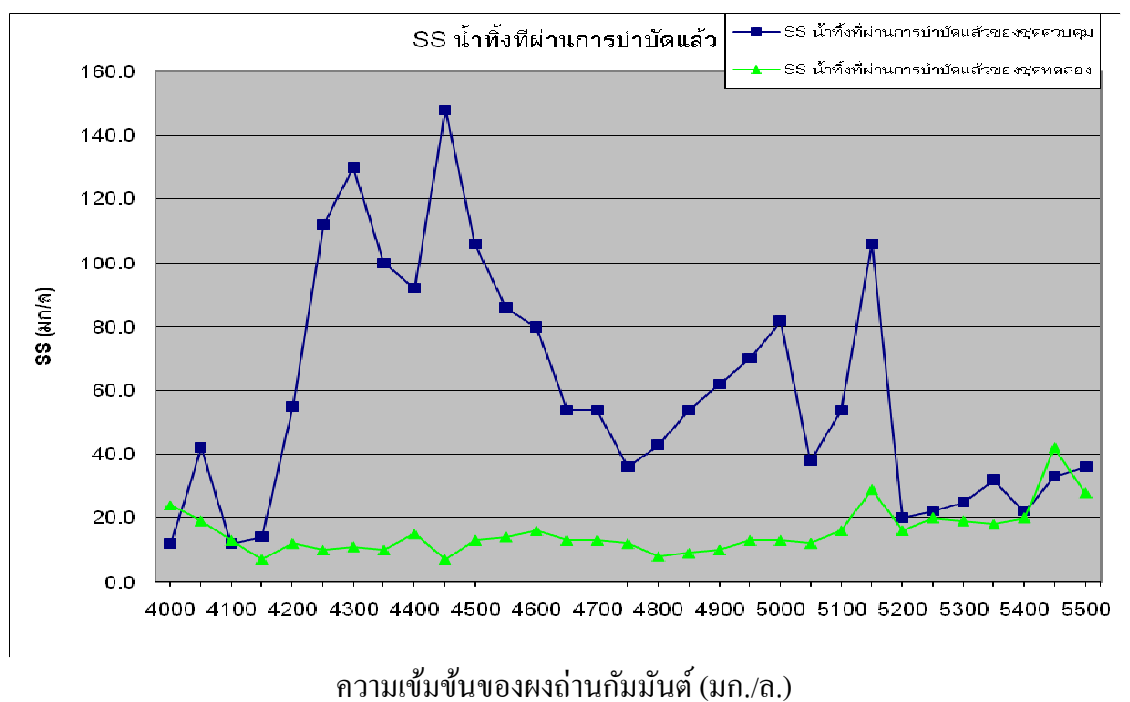
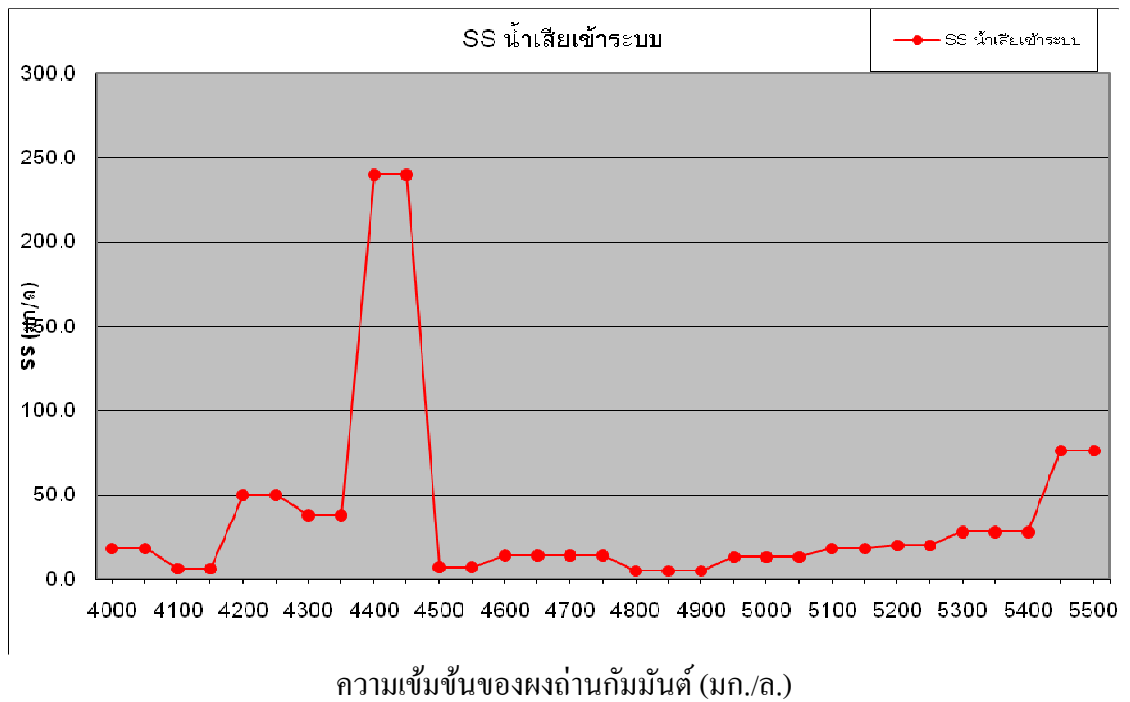
รูปที่ 4.6 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเติมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์เริ่มต้น 4000 มก./ล.และเติมเพิ่มอีกวันละ 50 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง



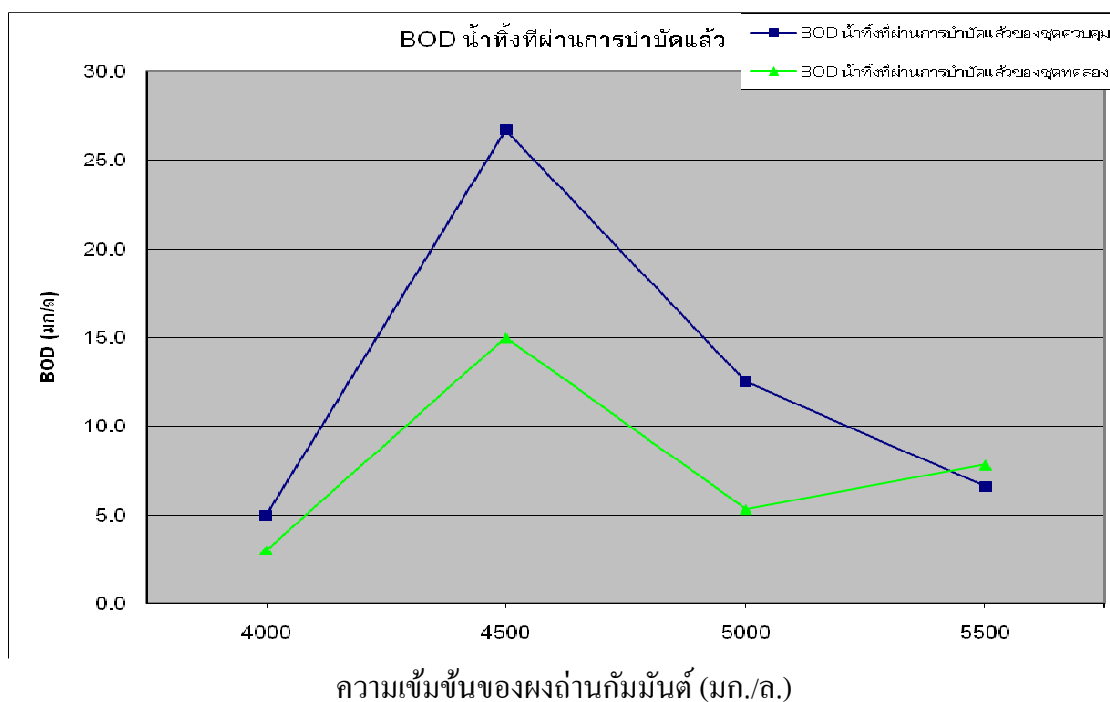
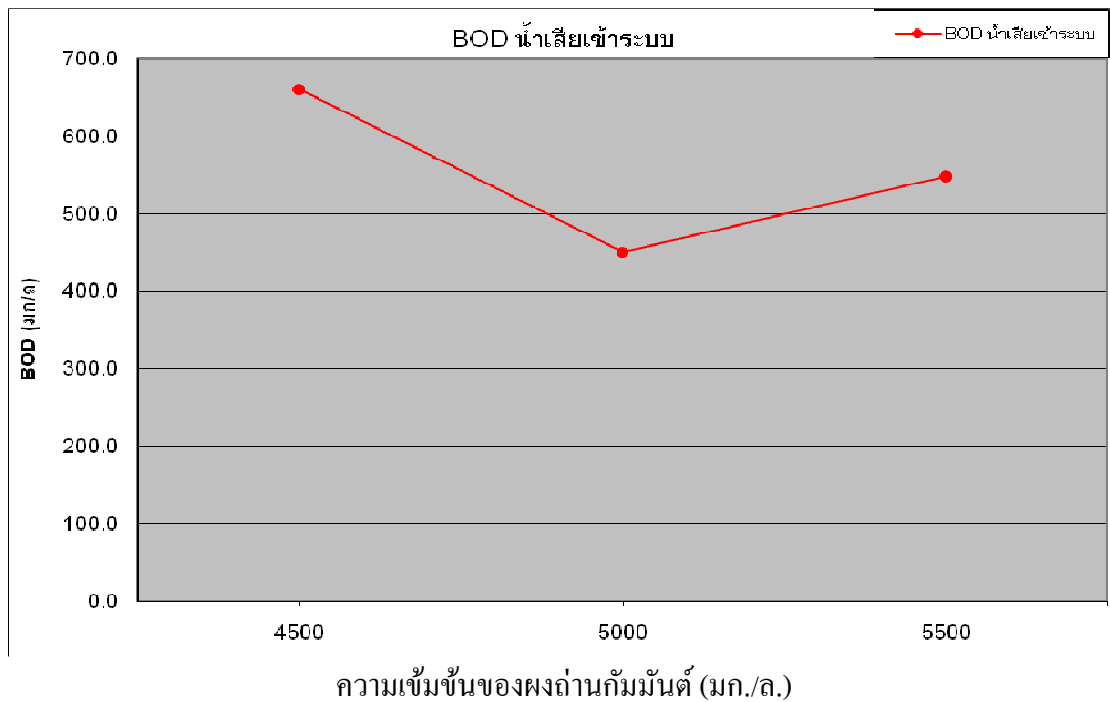
รูปที่ 4.6 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเติมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์เริ่มต้น 4000 มก./ล.และเติมเพิ่มอีกวันละ 50 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง (ต่อ)



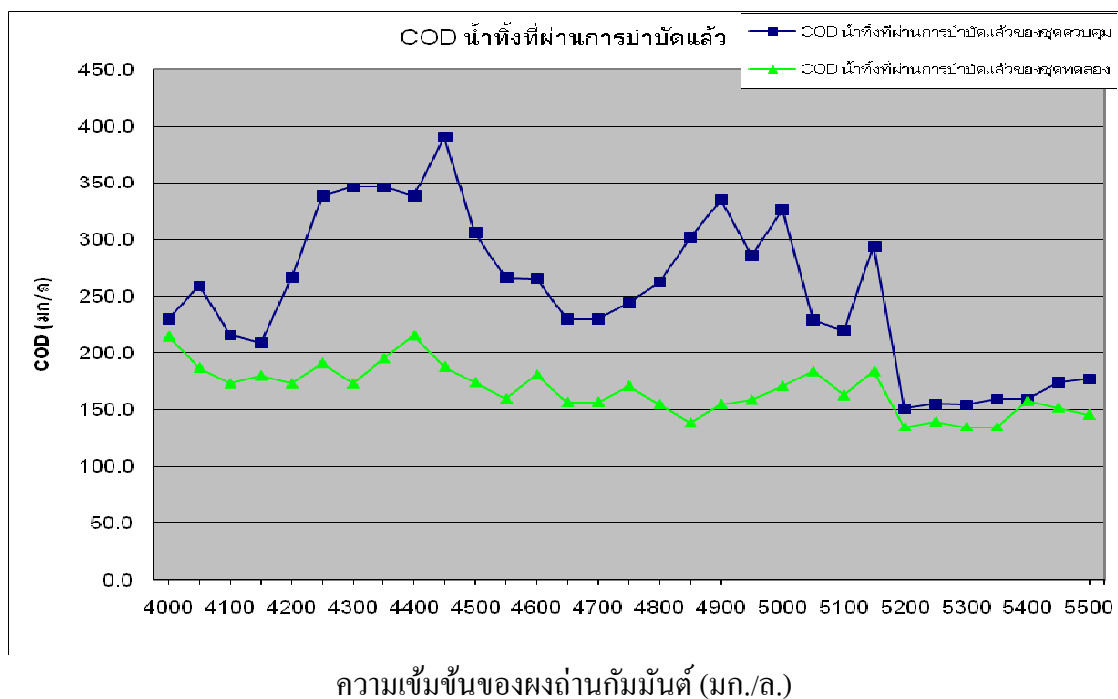
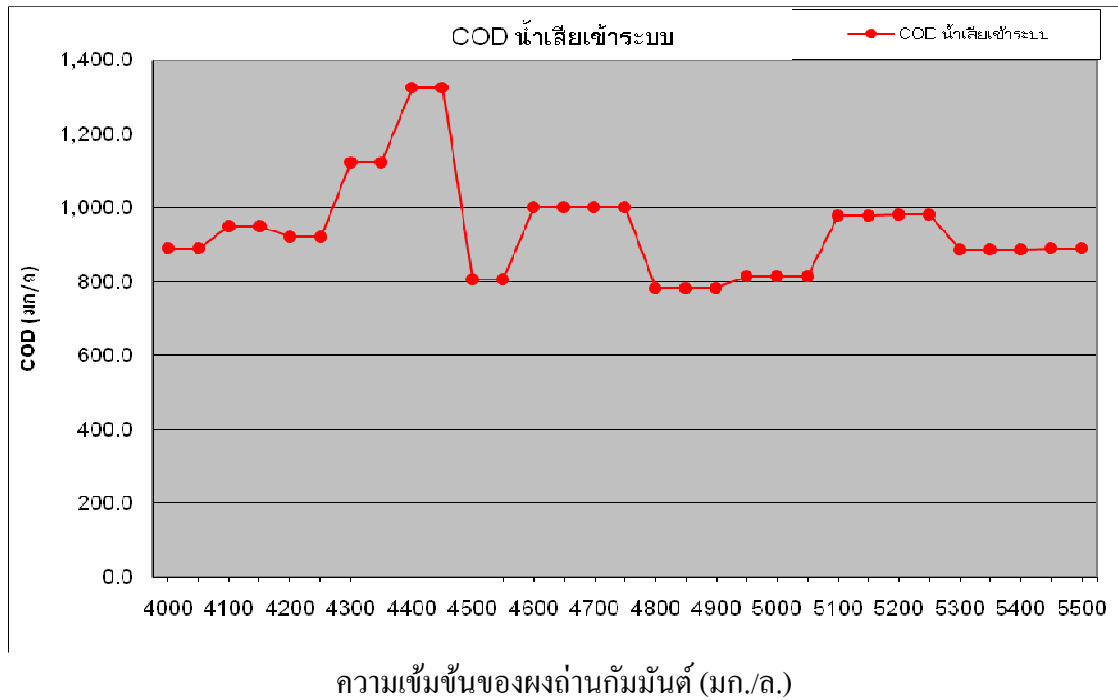
รูปที่ 4.6 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเติมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์เริ่มต้น 4000 มก./ล.และเติมเพิ่มอีกวันละ 50 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง (ต่อ)



รูปที่ 4.6 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสภาวะในถังเติมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์เริ่มต้น 4000 มก./ล.และเติมเพิ่มอีกวันละ 50 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง (ต่อ)



รูปที่ 4.6 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสภาวะในถังเดิมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์เริ่มต้น 4000 มก./ล.และเติมเพิ่มอีกวันละ 50 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเดิมอากาศ 48 ชั่วโมง (ต่อ)



รูปที่ 4.6 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเดิมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์เริ่มต้น 4000 มก./ล.และเติมเพิ่มอีกวันละ 50 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเดิมอากาศ 48 ชั่วโมง (ต่อ)

4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของชีโอดีของระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่เติมผงถ่านกัมมันต์

จากผลการทดลองที่ 1 ผลวิเคราะห์ค่าชีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) เฉลี่ยเท่ากับ 979.3 ± 217.3 มก./ล. น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ เฉลี่ยเท่ากับ 221.6 ± 28.1 มก./ล. และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 168.3 ± 22.0 มก./ล. ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 76.6 ± 4.4 % และของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. เท่ากับ 82.3 ± 3.0 % ดังนั้นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. เท่ากับ 5.7 ± 2.1 % ดังแสดงในตารางที่ 4.6 (ดูตัวอย่างการคำนวณจากภาคผนวก ง)

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีของการทดลองที่ 1 ที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเติมอากาศ 48 ชั่วโมง

ชุดการทดลอง		ค่าชีโอดีของ น้ำเสียเข้า ระบบ (มก./ล.)	ค่าชีโอดีของ น้ำทิ้งที่ผ่าน การบำบัดแล้ว (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ชีโอดี (%)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ชีโอดีที่ เพิ่มขึ้น (%)
ชุดที่ 1	ไม่เติมผงถ่าน กัมมันต์	979.3 ± 217.3	221.6 ± 28.1	76.6 ± 4.4	-
ชุดที่ 2	เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล.	979.3 ± 217.3	168.3 ± 22.0	82.3 ± 3.0	5.7 ± 2.1

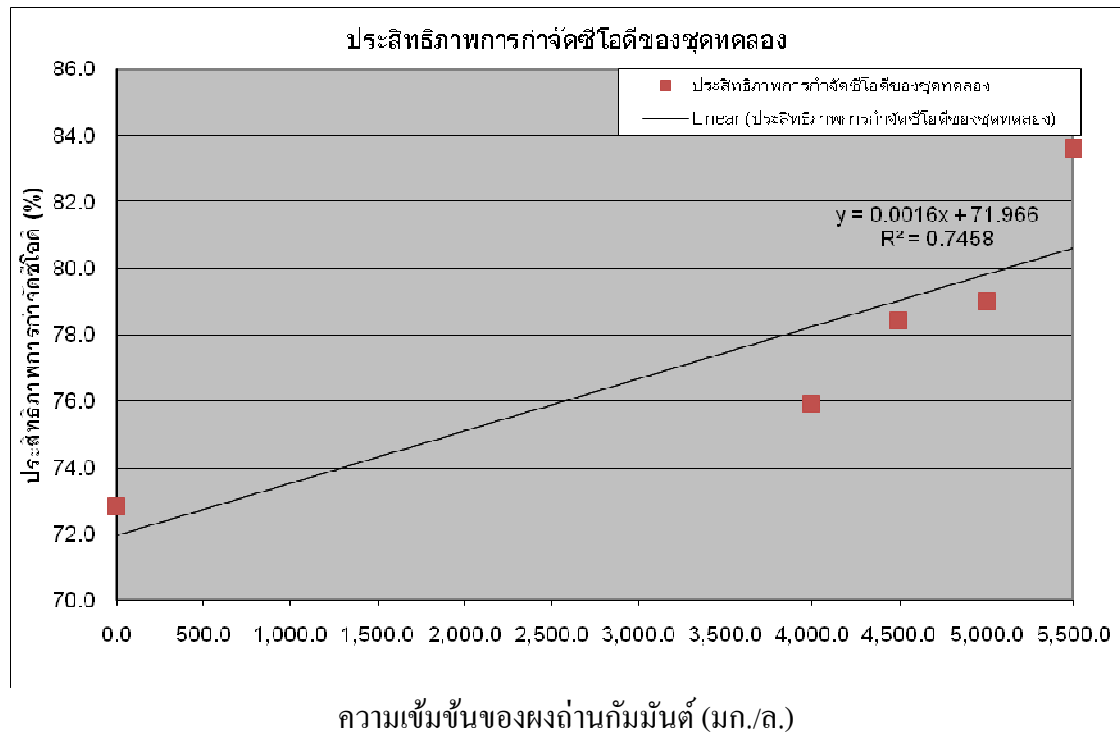
จากผลการทดลองที่ 2 ผลวิเคราะห์ค่าชีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) ของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เฉลี่ยเท่ากับ 942.1 ± 136.6 มก./ล. ส่วนผลวิเคราะห์ค่าชีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) ของชุดทดลองที่ปริมาณการเติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. เท่ากับ 891.0, 807.0, 816.0 และ 891.0 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เฉลี่ยเท่ากับ 253.6 ± 67.6 มก./ล. ส่วนน้ำทิ้งที่ผ่าน

การบำบัดแล้วของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. เท่ากับ 215.0, 174.0, 171.0 และ 146.0 มก./ล. ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เฉลี่ยเท่ากับ 72.8 ± 7.5 % และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. เท่ากับ 75.9 , 78.4 , 79.0 และ 83.6 % ตามลำดับ ดังนั้นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. เท่ากับ 3.1 , 5.6, 6.2 และ 10.8 % ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 (ดูตัวอย่างการคำนวณจากภาคผนวก ง)

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่ 2 ที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเดิมอากาศ 48 ชั่วโมง

ชุดการทดลอง			ค่าซีโอดี ของน้ำ เสียเข้า ระบบ (มก./ล.)	ค่าซีโอดี ของน้ำทิ้ง ที่ผ่านการ บำบัดแล้ว (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ซีโอดี (%)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ซีโอดีที่ เพิ่มขึ้น (%)
ชุดที่ 1	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์		942.1 ± 136.6	253.6 ± 67.6	72.8 ± 7.5	-
ชุดที่ 2	เติมผงถ่าน กัมมันต์ เริ่มต้น 4,000 มก./ล. และ เพิ่มวันละ 50 มก./ล.	4,000 มก./ล.	891.0	215.0	75.9	3.1
		4,500 มก./ล.	807.0	174.0	78.4	5.6
		5,000 มก./ล.	816.0	171.0	79.0	6.2
		5,500 มก./ล.	891.0	146.0	83.6	10.8

จากข้อมูลในตารางที่ 4.7 เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับค่าความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่เติมในถังเดิมอากาศ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์

จากรูปที่ 4.7 การเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบครึ่งฟิล์มจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์เพิ่มมากขึ้น สารที่ถูกดูดซับโดยผงถ่านกัมมันต์เหล่านี้อาจถูกย่อยสลายทางชีวภาพด้วยกลไกบางอย่าง และทำให้พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้อีก ซึ่งกลไกที่ทำให้เกิดสถานะเสริม (synergy) นี้เกิดจากสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ที่ถูกดูดซับเปลี่ยนเป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ สาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาต่อกัน (interaction) ระหว่างผงถ่านกัมมันต์และกลุ่มจุลินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Robertaccio และคณะ (1972, 1973, 1978, 1979 อ้างถึงใน Sublette และคณะ, 1982) ที่พบว่า กระบวนการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบตะกอนเร่งสามารถกำจัดบีโอดี ซีโอดี และสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากได้ดีกว่าระบบเดิมอากาศแบบตะกอนเร่งที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Perrotti และ Rodman (1973 อ้างถึงใน Zhang และคณะ, 1991) ที่ได้กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับการฟื้นฟูสภาพทางชีวภาพของผงถ่านกัมมันต์ (bioregeneration) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่แบคทีเรียหลั่งออกมาและแพร่เข้าไปในรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ และทำปฏิกิริยากับสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งจะได้สารที่ถูกดูดซับได้ต่ำ จึงทำให้เกิดการปลดปล่อยสารที่ถูกดูดซับออกมา (desorption) นอกรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ต่อไป และเมื่อใช้ linear

regression ประมาณกราฟเส้นตรงระหว่าง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์จะได้สมการ

$$y = 0.0016x + 71.97 \quad (4.5)$$

โดยที่ y = ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)

x = ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัม/ลิตร)

จากสมการ (4.5) จะได้กราฟเส้นตรงที่มีค่าความชันเท่ากับ 0.0016 หมายถึง ผงถ่านกัมมันต์เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้มากกว่าระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่ไม่ได้เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.0016 เท่าของความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ ค่าที่กราฟตัดแกน Y คือ ค่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0 มก./ล. ซึ่งเท่ากับ 71.97 % และจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0 มก./ล. เท่ากับ 72.8 ± 7.5 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าประมาณด้วยกราฟเส้นตรง จะเห็นได้ว่าใกล้เคียงกัน และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) เส้นกราฟมีค่าเท่ากับ 0.745 แสดงว่าสมการที่ได้เป็นตัวแทนในการประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างผงถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ในระดับหนึ่ง แต่การเติมผงถ่านกัมมันต์เพิ่มในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์มไม่ควรเติมเกิน 6848 มก./ล. ซึ่งได้จากผลการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน เพราะจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และจากการสังเกตเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์มให้มากกว่า 5500 มก./ล. พบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านถังตกตะกอนเริ่มจะมีตะกอนทั้งตะกอนเชื้อและตะกอนผงถ่านกัมมันต์หลุดออกมาด้วย ซึ่งคาดว่าขนาดของถังตกตะกอนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ไม่สามารถรับอัตราภาระของแข็ง (solid loading rate) ที่เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจึงเสนอแนะให้ขยายขนาดของถังตกตะกอนหรือกรองน้ำทิ้งที่ผ่านถังตกตะกอนเพื่อวัดค่าซีโอดีในรูปละลายน้ำ (dissolved COD) สำหรับนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์

4.5 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเติมและไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์มในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี

จากการทดลองทั้งสองครั้ง พบว่า ระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ที่เวลาพักน้ำ 48 ชม. อายุตะกอนประมาณ 30 วัน ค่าซีโอดียังเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ออกตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 ที่

กำหนดให้น้ำทิ้งมีค่าซีโอดีไม่เกิน 120 มก./ล จะต้องกำจัดซีโอดีในน้ำทิ้งที่เกินค่ามาตรฐานโดยใช้กระบวนการดูดซับธรรมชาติของผงถ่านกัมมันต์ต่อการบำบัดทางชีวภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำทิ้งที่เกินมาตรฐาน โดยคำนวณจากสมการของ Freundlich adsorption isotherm ดังนี้

$$x/m = 0.7571 C_e^{0.6614} \quad (4.3)$$

จากสมการของ Freundlich พบว่าถ่านกัมมันต์ (m) 1 กรัม สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี (x) ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านได้ 18.0 มก. เมื่อความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสียที่เหลืออยู่ (C_e) เท่ากับ 120 มก./ล. โดยได้เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายไว้ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการที่ต้องใช้ผงถ่านกัมมันต์เพิ่มในการดูดซับธรรมชาติเพื่อกำจัดซีโอดีในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ยังเกินค่ามาตรฐาน

การทดลอง			ค่าซีโอดี ของน้ำ ทิ้งที่ผ่าน การบำบัด แล้ว (มก./ล.)	ค่าซีโอดี ที่ยังเกิน มาตรฐาน (มก./ล.)	ผงถ่าน กัมมันต์ที่ ต้องใช้เพิ่ม ในการดูด ซับธรรมชาติ (มก./ล.)	ค่าใช้จ่าย โดยคิดราคา ของผง ถ่านกัมมันต์ 60 บาท/กก. (บาท/ลบม.)	ประหยัด ค่าใช้จ่าย (บาท/ ลบม.)
การ ทดลอง ที่ 1	ไม่เติมผงถ่าน กัมมันต์		221.6	101.6	5,644	339	178
	เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล.		168.3	48.3	2,683	161	
การ ทดลอง ที่ 2	ไม่เติมผงถ่าน กัมมันต์		253.6	133.6	7,422	450	-
	เติมผง ถ่าน กัมมันต์ (มก./ล.)	4,000	215.0	95.0	3,555	210	240
		4,500	174.0	54.0	3,000	180	270
		5,000	171.0	51.0	2,833	170	280
		5,500	146.0	26.0	1,444	87	360

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นว่าระบบเดิมอากาศแบบตรงฟิล์มที่เดิมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ผงถ่านกัมมันต์เพิ่มในกระบวนการดูดซับธรรมดาต่อการบำบัดทางชีวภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำทิ้งที่เกินค่ามาตรฐาน คิดเป็นเงินประมาณ 209 (เฉลี่ยจาก 178 บาท/ลูกบาศก์เมตรของการทดลองที่ 1 และ 240 บาท/ลูกบาศก์เมตรของการทดลองที่ 2), 270, 280 และ 360 บาท/ลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย ตามลำดับ (ราคาของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการคำนวณ 60 บาท/กก.)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาถึงผลของผงถ่านกัมมันต์ที่เติมลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้น้ำเสียจริงที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวมีค่าซีไออยู่ในช่วง 673 – 1,383 มก./ล. และผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้มีค่า iodine number 950 สามารถสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติมได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ผงถ่านกัมมันต์ 1 กรัม สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีไอของตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ได้ 5.4 มก. ที่ความเข้มข้นซีไอที่เหลืออยู่ในน้ำเสียเท่ากับ 120.0 มก./ล.

2. ผงถ่านกัมมันต์ 1 กรัม สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีไอของตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ได้ 18.0 มก. ที่ความเข้มข้นซีไอที่เหลืออยู่ในน้ำเสียเท่ากับ 120.0 มก./ล.

3. จากการทดลองที่ 1 ชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ที่ระยะเวลาพักน้ำ 48 ชม. อายุตะกอน 30 วัน สามารถกำจัดซีไอโดยเฉลี่ยเท่ากับ $76.6 \pm 4.4 \%$ และ $82.3 \pm 3.0 \%$ ตามลำดับ และมีค่าซีไอในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วเฉลี่ยเท่ากับ 221.6 ± 28.1 มก./ล. และ 168.3 ± 22.0 มก./ล. ตามลำดับ โดยค่าซีไอของน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ยเท่ากับ 979.3 ± 217.3 มก./ล. เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดซีไอ พบว่าระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่เติมผงถ่านกัมมันต์ สามารถกำจัดซีไอได้เพิ่มขึ้นจากระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ $5.7 \pm 2.1 \%$

4. จากการทดลองที่ 2 ชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ที่ระยะเวลาพักน้ำ 48 ชม. อายุตะกอน 30 วัน สามารถกำจัดซีไอโดยเฉลี่ยได้เท่ากับ 72.8 ± 7.5 , 75.9 , 78.4 , 79.0

และ 83.6 % ตามลำดับ และมีค่าซีไอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วเท่ากับ 253.6 ± 67.6 , 215.0, 174.0, 171.0 และ 146.0 มก./ล. ตามลำดับ โดยค่าซีไอดีของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 942.1 ± 136.6 , 935.2, 807.0, 816.0 และ 891.0 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีพบว่าระบบเดิมอากาศแบบดริ่งฟิล์มที่เดิมผงถ่านกัมมันต์ สามารถกำจัดซีไอดีได้เพิ่มขึ้นจากระบบเดิมอากาศแบบดริ่งฟิล์มที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 3.1, 5.6, 6.2 และ 10.8 % ตามลำดับ ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผงถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีไอดีเพิ่มขึ้นไม่มากนัก

5. ระบบเดิมอากาศแบบดริ่งฟิล์มที่เดิมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ ถึงแม้ว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงมีค่าซีไอดีเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ออกตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 ที่กำหนดให้น้ำทิ้งมีค่าซีไอดีไม่เกิน 120 มก./ล. แต่จะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ผงถ่านกัมมันต์เพิ่มในกระบวนการดูดซับธรรมชาติต่อการบำบัดทางชีวภาพในการกำจัดซีไอดีในน้ำทิ้งที่ยังเกินค่ามาตรฐาน คิดเป็นเงินประมาณ 209, 270, 280 และ 360 บาท/ลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย ตามลำดับ (ราคาของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการคำนวณ 60 บาท/กก.)

5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม

1. ควรมีการศึกษาถึงผลของผงถ่านกัมมันต์ที่เติมลงในระบบเดิมอากาศแบบดริ่งฟิล์มที่มีคุณสมบัติของค่า iodine number ที่สูงขึ้น หรือเวลากักน้ำที่มากกว่า 48 ชม. ที่มีต่อประสิทธิภาพบำบัดน้ำเสีย

2. ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผงถ่านกัมมันต์ที่เติมลงในระบบเดิมอากาศแบบดริ่งฟิล์มโดยเพิ่มความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ พิจารณานาฬิกาของถังตกตะกอนให้สามารถรับอัตราภาระของแข็ง (solid loading rate) ที่เพิ่มขึ้นด้วย และ/หรือพิจารณาการกรองน้ำทิ้งที่ผ่านถังตกตะกอนเพื่อวัดค่าซีไอดีในรูปละลายน้ำ (dissolved COD) สำหรับหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีกับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์

การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้านด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม

IMPROVEMENT OF TREATMENT EFFICIENCY OF ORGANIC MATTERS IN WASTEWATER FROM PAINT INDUSTRY BY ADDING POWDERED ACTIVATED CARBON IN FIXED FILM AERATION PROCESS.

กรรชิต ชูดีไพศาล 4936951 ENTM/M

วท.ม. (เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อุษณีย์ อุยะเสถียร, วศ.ม., วินัย นุตมากุล, Ph.D.

บทสรุปแบบสมบูรณ์

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเสียที่มาจากกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสีทาบ้านจะมีองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ซึ่งหมายความว่าสัดส่วนของค่าความสกปรกในรูปของบีโอดีต่อค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีมีค่าต่ำ และต้องใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียหลายขั้นตอน ซึ่งโดยทั่วไปรูปแบบการบำบัดอย่างน้อยจะประกอบด้วย กระบวนการบำบัดทางกายภาพ กระบวนการบำบัดทางเคมี และกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ แต่เนื่องจากน้ำเสียที่มาจากกลุ่มโรงงานผลิตสีทาบ้านมีองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบเติมอากาศแต่เพียงอย่างเดียวอาจจะไม่เพียงพอในการบำบัดค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีให้มีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ออกตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 อย่างต่อเนื่องได้

โดยทั่วไปสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากจะบำบัดโดยใช้กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (carbon adsorption) เพื่อดูดซับสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากดังกล่าว ซึ่งการใช้ทั้งชนิดเม็ด (granular activated carbon, GAC) และชนิดผง (powdered activated carbon, PAC) ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการลงทุนขึ้นต้นและค่าใช้จ่ายในการปรับคืนสภาพถ่านกัมมันต์

การบำบัดน้ำเสียด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง เรียกว่า ระบบแพคท์ (the powered activated carbon treatment process, PACT) Flynn (1974, 1975 อ้างถึงใน Sublette และ คณะ, 1982) กล่าวว่าสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้และถูกดูดซับได้ หรือ สารที่ย่อยสลายได้ช้าและถูกดูดซับได้ ระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดสารเหล่านี้ได้ด้วยประสิทธิภาพที่สูงกว่าระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งธรรมดา โดยได้ให้เหตุผลว่าการลดลงของสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้และถูกดูดซับได้ในระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์ เกิดจากการถูกดูดซับเท่านั้น ส่วนการลดลงของสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ช้าและถูกดูดซับได้ สารที่ถูกดูดซับเหล่านี้ถูกย่อยสลายทางชีวภาพด้วยกลไกบางอย่าง และทำให้พื้นผิวพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้อีก กลไกที่ทำให้เกิดสภาวะเสริมนี้เกิดจากสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ที่ถูกดูดซับเปลี่ยนเป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ สาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาต่อกัน (interaction) ระหว่างผงถ่านกัมมันต์และกลุ่มจุลินทรีย์ และ Perrotti และ Rodman (1974 อ้างถึงใน Zhang และคณะ, 1991) ได้มีสมมุติฐานว่า การปลดปล่อยสารที่ถูกดูดซับออกมา (desorption) เกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ถูกห่อหุ้มออกมาภายนอก (exoenzymatic reaction) แม้ว่าแบคทีเรียจะมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะเข้ามาอยู่ในรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ แต่แบคทีเรียจะมีการหลั่งเอนไซม์บางชนิดออกมา ซึ่งจะแพร่เข้าไปในรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ได้ง่ายกว่า และทำปฏิกิริยากับสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งจะได้อาหารที่ถูกดูดซับได้ต่ำ จึงทำให้เกิดการปลดปล่อยสารที่ถูกดูดซับออกมา (desorption) นอกจากรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ต่อไป

สำหรับระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม (fixed film aeration process) ที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จากการศึกษาของ Wanner และคณะ (1988) พบว่าระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มซึ่งเป็นการบำบัดน้ำเสียร่วมระหว่างกระบวนการตะกอนเร่ง (activated sludge process) กับกระบวนการฟิล์มชีวภาพ หรือ (fixed film process) จะทำให้การจมตัวของตะกอนดีขึ้น และช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดเส้นใย และ Gebara (1999) พบว่านอกจากจะเพิ่มประสิทธิภาพในการจมตัวของตะกอนแล้ว ยังส่งผลดีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี อีกทั้งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียโดยรวมด้วย จากเหตุผลข้างต้น การวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มเปรียบเทียบกับกรณีไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ซึ่งอาจนำผลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสีที่บ้านต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ย่อยสลายยากในน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีทาบ้านด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบดริ่งฟิล์ม เปรียบเทียบกับการไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบดริ่งฟิล์ม
2. ศึกษาค่าใช้จ่ายในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี โดยระบบที่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบดริ่งฟิล์ม เปรียบเทียบกับการไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบดริ่งฟิล์ม

1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบดริ่งฟิล์มอาจเกิดสถานะเสริม (synergy) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาต่อกันระหว่างผงถ่านกัมมันต์และกลุ่มจุลชีพ จึงอาจเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ย่อยสลายยากในน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการบำบัดในระบบเดิมอากาศแบบดริ่งฟิล์มและตามด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นการบวกกันธรรมชาติระหว่างการย่อยสลายด้วยจุลชีพและการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ถ้าเป็นจริงดังที่กล่าวจะทำให้ประหยัดค่าก่อสร้างหน่วยบำบัดในการดูดซับที่แยกออกมาต่างหาก และค่าถ่านกัมมันต์ หรือค่าใช้จ่ายในการปรับคืนสภาพถ่านกัมมันต์สำหรับกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่แยกต่างหากนั้น และอาจบำบัดค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีให้มีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. หาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมี และค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน
2. ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบเดิมอากาศแบบดริ่งฟิล์ม ที่เติมผงถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีที่ระยะเวลาเก็บกัก 48 ชั่วโมง (เนื่องจากน้ำเสียที่มาจากกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสีทาบ้านจะมีองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ระยะเวลาเก็บกักควรมากกว่าปกติ (24 ชั่วโมง) ในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้ระยะเวลาเก็บกักที่ 48 ชั่วโมง)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ทำให้ทราบถึงปริมาณการเติมผงถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม เพื่อบำบัดสารอินทรีย์ย่อยสลายยากด้วยกระบวนการดูดซับในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม สำหรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วของโรงงานผลิตสีทาบ้าน

2. เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ย่อยสลายยากของโรงงานผลิตสีทาบ้านและโรงงานอื่นๆ ที่มีปัญหาค่าความสกปรกในรูปของซีไอดีที่ยังเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ออกตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535

2. การดำเนินการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาวิจัยระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory scale) ชุดทดลองที่ใช้ในการทดลองสอดคล้องกับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้านโดยทั่วไป โดยใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีด้วย FeCl_3 และโพลิเมอร์ประจุลบ (anionic polymer) จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้าน การทดลองมีจำนวน 2 ชุด (ชุดที่ 1 เป็นชุดควบคุม ซึ่งไม่ได้เติมผงถ่านกัมมันต์เพื่อใช้สำหรับนำมาเปรียบเทียบผลการทดลองและชุดที่ 2 เป็นชุดทดลอง) ซึ่งทั้งสองชุดการทดลองเป็นระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่มีการไหลแบบต่อเนื่อง มีตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาคือ ปริมาณความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ในถังเติมอากาศ ส่วนพารามิเตอร์และค่าของพารามิเตอร์ที่ควบคุมแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์และค่าของพารามิเตอร์ที่ควบคุม

พารามิเตอร์ที่ควบคุม	ค่าของพารามิเตอร์ที่ควบคุม
พีเอช, pH	6-8
ความเข้มข้นของซีไอดีในน้ำเสียเข้าระบบ, COD_{inf} (มก. /ล.)	750-1,500
ระยะเวลาเก็บกัก, HRT (ชั่วโมง)	48
อัตราการป้อนน้ำเสีย (ลิตร/ชม.)	2.5
อายุตะกอน, SRT (วัน)	30
ออกซิเจนละลายน้ำในถังเติมอากาศ, DO (มก. /ล.)	≥ 4

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลอง ประกอบด้วย

1. ถังปรับสภาพน้ำเสีย (equalization tank) ใช้สำหรับพักตัวอย่างน้ำเสีย ยี่ห้อ Tema รุ่น ROT260A-L125 ทำจากโพลีเอทิลีน ขนาดปริมาตรถึง 260 ลิตร จำนวน 1 ถัง
2. เครื่องสูบน้ำ (pump) ที่ใช้เป็นชนิด metering pump ยี่ห้อ ProMinent รุ่น CNPA0308PVT209A01 อัตราการสูบ 8.5 ลิตรต่อชั่วโมง ที่แรงสูบส่ง 3.0 บาร์ จำนวน 2 ชุด ใช้สูบน้ำจากถังปรับสภาพน้ำเสียเข้าสู่ถังเติมอากาศ
3. ถังเติมอากาศ (aeration tank) ทำจากพลาสติกใสปริมาตร 120 ลิตร ภายในบรรจุตัวกลางพลาสติก ปริมาณ 42 ลิตร จำนวน 2 ชุด พร้อมสายยางเติมอากาศและหัวพ่นอากาศ (air diffuser) ชนิดแทงทราย
4. เครื่องเติมอากาศ (air pump) ใช้ในการเติมอากาศให้จุลินทรีย์โดยใช้เครื่องเติมอากาศยี่ห้อ NITTO (MEDO) รุ่น LA-45B ปริมาตรอากาศสุทธิ 45 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 เครื่อง (จ่ายให้กับถังเติมอากาศทั้งสองชุด)
5. ตัวกลางพลาสติก (plastic media) ที่ใส่ในถังเติมอากาศ 42 ลิตรต่อถัง (35 % ของปริมาตรถัง)
6. ถังตกตะกอน (sedimentation tank) เป็นถังกลมทำจากพลาสติกใสและมีกรวยสำหรับตกตะกอนด้านล่าง เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 เมตร ขนาดความจุ 7.5 ลิตร จำนวน 2 ชุด
7. ถังรับน้ำทิ้งจากระบบ (effluent tank) ใช้สำหรับรองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ยี่ห้อ Tema รุ่น CEN100B-L5X6 ทำจากโพลีเอทิลีน ขนาดปริมาตรถึง 100 ลิตร จำนวน 2 ชุด
8. ผงถ่านกัมมันต์ (powdered activated carbon) ที่ใช้ในการทดลองประมาณ 30 กิโลกรัม มีค่า iodine number 950

2.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

2.2.1 การหาไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm)

การทดลองหาไอโซเทอมของการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมี และค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ตามวิธี ASTM D 3860 – 89a (reapproved 1993) Standard practice for determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique มีรายละเอียดดังนี้

1. ครั้งแรกทดสอบกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน เริ่มทำการทดลองโดยการเติมน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ม.ล. 10 ใบ ใบละ 100 ม.ล. จากนั้นเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0 และ 20.0 กรัม ลงไปในขวด ทำให้ได้ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 20000, 50000, 100000 และ 200000 มก. /ล. ตามลำดับ ในการทดสอบ isotherm ครั้งที่สองทดสอบกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน โดยดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับครั้งแรก

2. นำขวดต่างๆ ในข้อ 1. ไปเข้าเครื่องกวนผสม ณ อุณหภูมิห้อง โดยใช้ระยะเวลาสัมผัส 2 ชั่วโมง

3. นำตัวอย่างที่ผ่านการกวนผสมแล้วไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ของ Whatman แล้วนำน้ำที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาค่าซีไอดี

4. คำนวณหา x/m จากสมการ $x/m = (C_0 - C_e) V/m$ และนำค่า x/m และ C_e ไปกำหนดเส้น isotherm บนกระดาษกราฟ log-log

x/m	=	ปริมาณของซีไอดีที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของผงถ่านกัมมันต์ (มก./ก.)
C_0	=	ความเข้มข้นของซีไอดีก่อนการดูดซับ (มก./ล.)
C_e	=	ความเข้มข้นของซีไอดีหลังการดูดซับ (มก./ล.)
V	=	ปริมาตรของตัวอย่างที่นำมาทดลอง (มล.)

2.2.2 การเริ่มต้นการทดลอง (Start up)

เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์แบบใช้อากาศในถังเดิมอากาศมีความพร้อมก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย โดยการนำเชื้อจุลินทรีย์และตัวกลางพลาสติกจากถังเดิมอากาศของโรงงานผลิตสีทาบ้าน ใส่ถังเดิมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลอง โดยใส่ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ถังละ 60 ลิตร และใส่ตัวกลางพลาสติกถังละ 42 ลิตร ทำการเติมน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดทางเคมีของโรงงานผลิตสีทาบ้าน ให้เต็มถังแล้วเปิดเครื่องเติมอากาศ จากนั้นเริ่มป้อนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดทางเคมีของโรงงานผลิตสีทาบ้าน เพื่อเลี้ยงจุลินทรีย์แบบต่อเนื่อง แล้วจึงดำเนินการเก็บน้ำเสียไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ pH, COD และ MLSS จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) สังเกตได้จากประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดี

2.2.3 การทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ดำเนินการทดลองเดินระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองทั้ง 2 ชุด โดยชุดที่ 1 ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเดิมอากาศ (ชุดควบคุม) ส่วนชุดที่ 2 เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเดิมอากาศ (ชุดทดลอง) โดยเดินระบบที่อัตราการป้อนน้ำเสีย 2.5 ลิตรต่อชั่วโมง

การทดลองที่ 1 ดำเนินการทดลองโดยกำหนดระยะเวลาพักน้ำ ของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองทั้งสองชุดที่ 48.0 ชั่วโมง โดยชุดที่ 1 ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเดิมอากาศ (ชุดควบคุม) ส่วนชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) เติมผงถ่านกัมมันต์ 480 กรัม (4000 มก./ล.) ซึ่งความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่เลือกใช้ได้จากผลการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน โดยเดินระบบอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) และเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 16 กรัม ที่หายไปจากระบบอันเนื่องมาจากการทิ้งตะกอนเชื้อออกจากถังเดิมอากาศประมาณวันละ 3.9 ลิตร เพื่อรักษาอายุตะกอน 30 วัน

การทดลองที่ 2 ดำเนินการทดลองต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1 โดยกำหนดระยะเวลาพักน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองทั้งสองชุดที่ 48.0 ชั่วโมง โดยชุดที่ 1 ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเดิมอากาศ (ชุดควบคุม) ส่วนชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. และเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 16 กรัม ที่หายไปจากระบบอันเนื่องมาจากการทิ้งตะกอนเชื้อออกจากถังเดิมอากาศประมาณวันละ 3.9 ลิตร เพื่อรักษาอายุตะกอน 30 วัน และเพิ่มปริมาณการเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 6 กรัม (50 มก./ล.) จนมีความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล.

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดลองหาไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm)

จากการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี ของผงถ่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) ของ Freundlich adsorption isotherm มีค่าเท่ากับ 0.9890 ซึ่งสูงกว่าของ Langmuir adsorption isotherm ดังนั้นจึงใช้สมการ Freundlich

$$x/m = 0.0001 C_e^{2.2762} \quad (1)$$

จากสมการพบว่า ผงถ่านกัมมันต์ 1 กรัม สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีได้ 5.4 มก. เมื่อความเข้มข้นซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำเสียเท่ากับ 120 มก./ล. และค่าคงที่ K_f และ $1/n$ เท่ากับ 0.0001 และ 2.2762 ($n = 0.4393$) ตามลำดับ โดย McKay และคณะ (1982 อ้างถึงใน Melgoza-

Aleman และ Morales-Guzman, 2009) ได้แนะนำว่า ค่าคงที่ n ที่แสดงถึงการดูดซับได้ดีมีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 10 ดังนั้นจากการทดลองจะเห็นว่าความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านของผงด่านกัมมันต์มีค่าต่ำมาก

และจากการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงด่านกัมมันต์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) ของ Freundlich adsorption isotherm มีค่าเท่ากับ 0.9944 ซึ่งสูงกว่าของ Langmuir adsorption isotherm ดังนั้นจึงใช้สมการ Freundlich

$$x/m = 0.7571 C_e^{0.6614} \quad (2)$$

จากสมการของ Freundlich พบว่า ผงด่านกัมมันต์ 1 กรัม สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีได้ 18.0 มก. เมื่อความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสียที่เหลืออยู่เท่ากับ 120 มก./ล. และค่าคงที่ K_f และ $1/n$ เท่ากับ 0.7571 และ 0.6614 ($n = 1.5119$) ตามลำดับ ดังนั้นจากการทดลองจะเห็นว่าความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านของผงด่านกัมมันต์ยังถือว่ามีความคุ้มค่า และได้นำไปใช้ประเมินความเข้มข้นของผงด่านกัมมันต์ที่ใช้ในถังเดิมอากาศชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของผงด่านกัมมันต์} &= \frac{(243-120)\text{มก.ซีโอดี/ล.น้ำเสีย}}{18\text{มก.ซีโอดี/ก.ผงด่านกัมมันต์}} \\ &= 6848 \quad \text{มก./ล.} \end{aligned}$$

ความเข้มข้นของผงด่านกัมมันต์ที่ใช้ในถังเดิมอากาศชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) ไม่ควรเกิน 6848 มก./ล. จึงเลือกใช้ความเข้มข้นของผงด่านกัมมันต์ 4000 มก./ล.

3.2 ผลการทดลองของระบบเดิมอากาศแบบตริงฟิล์มที่เติมผงด่านกัมมันต์ในการกำจัดสารอินทรีย์

การทดลองที่ 1 ดำเนินการทดลองโดยกำหนดระยะเวลาพักน้ำที่ 48 ชั่วโมง ของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองทั้งสองชุด โดยชุดที่ 1 (ชุดควบคุม) ไม่เติมผงด่านกัมมันต์ลงในถังเดิมอากาศ ส่วนชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) เติมผงด่านกัมมันต์ 480 กรัม (4000 มก./ล.) ซึ่งความเข้มข้นของผงด่านกัมมันต์ที่เลือกใช้ได้จากผลการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงด่านกัมมันต์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน โดยเดินระบบอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) และเติมผงด่านกัมมันต์อีกวันละ 16 กรัม ที่หายไปจากระบบอันเนื่องมาจากการทิ้งตะกอนเชื้อออกจากถังเดิมอากาศประมาณ

วันละ 3.9 ลิตร เพื่อรักษาอายุตะกอน 30 วัน ผลการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน เท่ากับ 979.3 ± 217.3 มก./ล. ส่วนค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่ไม่เติมผง ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 221.6 ± 28.1 มก./ล. และค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่ เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 168.3 ± 22.0 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) แล้ว 20 วัน คือ ช่วงวันที่ 17 มกราคม ถึงวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้ง ที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสภาวะในถังเดิมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผง ถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเดิมอากาศ 48 ชั่วโมง

ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย			พารามิเตอร์							
			pH	DO	SV-30	COD	BOD	SS	MLSS	MLVSS
น้ำเสียเข้าระบบ		เฉลี่ย	6.9	-	-	979.3	414.5	95.5	-	-
		S.D	0.2	-	-	217.3	-	73.7	-	-
สภาวะ ในถัง เดิม อากาศ	ไม่เติม ผงถ่าน กัมมันต์	เฉลี่ย	7.7	6.9	513.0	-	-	-	3,382	5,493
		S.D	0.2	0.2	85.2	-	-	-	856	-
	เติม ผงถ่าน กัมมันต์	เฉลี่ย	7.7	6.9	245.0	-	-	-	3,979	5,096
		S.D	0.2	0.3	39.0	-	-	-	704	-
น้ำทิ้งที่ ผ่านการ บำบัด แล้ว	ไม่เติม ผงถ่าน กัมมันต์	เฉลี่ย	-	-	-	221.6	5.0	29.8	-	-
		S.D	-	-	-	28.1	-	16.2	-	-
	เติม ผงถ่าน กัมมันต์	เฉลี่ย	-	-	-	168.3	3.6	19.3	-	-
		S.D	-	-	-	22.0	-	7.7	-	-

หมายเหตุ : พารามิเตอร์อื่นๆ ยกเว้น pH และ SV-30 มีหน่วย มก./ล.

SV-30 มีหน่วย มล./ล.

การทดลองที่ 2 ดำเนินการทดลองต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1 โดยกำหนดระยะเวลาพักน้ำของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลองทั้งสองชุดที่ 48.0 ชั่วโมง โดยชุดที่ 1 ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ลงในถังเดิมอากาศ (ชุดควบคุม) ส่วนชุดที่ 2 (ชุดทดลอง) เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. และเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 16 กรัม ที่หายไปจากระบบอันเนื่องมาจากการทิ้งตะกอนเชื้อออกจากถังเดิมอากาศประมาณวันละ 3.9 ลิตร เพื่อรักษาอายุตะกอน 30 วัน โดยเดินระบบอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) และเพิ่มปริมาณการเติมผงถ่านกัมมันต์อีกวันละ 6 กรัม (50 มก./ล.) จนมีความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. ผลการวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) สภาวะในถังเดิมอากาศ และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว แสดงในตารางที่ 3 ซึ่งค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้านเท่ากับ 942.1 ± 136.6 มก./ล. ส่วนค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 253.6 ± 67.6 มก./ล. และค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ปริมาณการเติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. เท่ากับ 215.0, 174.0, 171.0 และ 146.0 มก./ล. ตามลำดับ

3.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของระบบเดิม อากาศแบบตรึงฟิล์มที่เติมผงถ่านกัมมันต์

จากผลการทดลองที่ 1 ผลวิเคราะห์ค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) เฉลี่ยเท่ากับ 979.3 ± 217.3 มก./ล. น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ เฉลี่ยเท่ากับ 221.6 ± 28.1 มก./ล. และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. เฉลี่ยเท่ากับ 168.3 ± 22.0 มก./ล. ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 76.6 ± 4.4 % และของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. เท่ากับ 82.3 ± 3.0 % ดังนั้นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. เท่ากับ 5.7 ± 2.1 % ดังแสดงในตารางที่ 4

จากผลการทดลองที่ 2 ผลวิเคราะห์ค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) ของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เฉลี่ยเท่ากับ 942.1 ± 136.6 มก./ล. ส่วนผลวิเคราะห์ค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ (น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน) ของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. เท่ากับ 891.0, 807.0, 816.0 และ 891.0 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เฉลี่ยเท่ากับ 253.6 ± 67.6 มก./ล. ส่วนน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. เท่ากับ 215.0, 174.0, 171.0

และ 146.0 มก./ล. ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เฉลี่ยเท่ากับ $72.8 \pm 7.5 \%$ และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. เท่ากับ 75.9, 78.4, 79.0 และ 83.6 % ตามลำดับ ดังนั้นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการเติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. เท่ากับ 3.1, 5.6, 6.2 และ 10.8 % ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 3 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียในระบบ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว และสถานะในถังเดิมอากาศของชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเดิมอากาศ 48 ชั่วโมง

ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย			พารามิเตอร์							
			pH	DO	SV-30	COD	BOD	SS	MLSS	MLVSS
น้ำเสียเข้าระบบ		เฉลี่ย	7.3	-	-	942.1	552.7	36.8	-	-
		S.D	0.2	-	-	136.6	-	57.4	-	-
สถานะในถังเดิมอากาศ	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์	เฉลี่ย	7.9	6.5	469.4	-	-	-	2,859	2,086
		S.D	0.2	0.7	48.2	-	-	-	280.1	-
	เติมผงถ่านกัมมันต์ (มก./ล.)	4000	8.1	4.8	350.0	-	-	-	3,085	-
		4500	8.2	7.3	300.0	-	-	-	3,424	2,710
		5000	8.0	7.0	250.0	-	-	-	3,152	2,790
		5500	8.0	7.1	250.0	-	-	-	3,730	3,242
	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์	เฉลี่ย	-	-	-	253.6	15.3	59.1	-	-
		S.D	-	-	-	67.6	-	36.6	-	-
น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว	เติมผงถ่านกัมมันต์ (มก./ล.)	4000	-	-	-	215.0	-	24.0	-	-
		4500	-	-	-	174.0	15.0	13.0	-	-
		5000	-	-	-	171.0	5.3	13.0	-	-
		5500	-	-	-	146.0	7.8	28.0	-	-

หมายเหตุ : พารามิเตอร์อื่นๆ ยกเว้น pH และ SV-30 มีหน่วย มก./ล.

SV-30 มีหน่วย มล./ล.

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่ 1 ที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเดิมอากาศ 48 ชั่วโมง

ชุดการทดลอง		ค่าซีโอดีของ น้ำเสียเข้า ระบบ (มก./ล.)	ค่าซีโอดีของ น้ำทิ้งที่ผ่าน การบำบัดแล้ว (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ซีโอดี (%)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ซีโอดีที่ เพิ่มขึ้น (%)
ชุดที่ 1	ไม่เติมผงถ่าน กัมมันต์	979.3±217.3	221.6±28.1	76.6±4.4	-
ชุดที่ 2	เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล.	979.3±217.3	168.3±22.0	82.3±3.0	5.7 ± 2.1

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่ 2 ที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. ระยะเวลาเก็บกักของถังเดิมอากาศ 48 ชั่วโมง

ชุดการทดลอง			ค่าซีโอดี ของน้ำเสีย เข้าระบบ (มก./ล.)	ค่าซีโอดีของ น้ำทิ้งที่ผ่าน การบำบัดแล้ว (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ซีโอดี (%)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ซีโอดีที่ เพิ่มขึ้น (%)
ชุดที่ 1	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์		942.1 ±136.6	253.6 ±67.6	72.8±7.5	-
ชุดที่ 2	เติมผงถ่าน กัมมันต์	4,000 มก./ล.	891.0	215.0	75.9	3.1
	เริ่มต้น	4,500 มก./ล.	807.0	174.0	78.4	5.6
	และเพิ่ม	5,000 มก./ล.	816.0	171.0	79.0	6.2
	วันละ	5,500 มก./ล.	891.0	146.0	83.6	10.8

การเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบครึ่งฟิล์มจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์เพิ่มมากขึ้น สารที่ถูกดูดซับโดยผงถ่านกัมมันต์เหล่านี้อาจถูกย่อยสลายทางชีวภาพด้วยกลไกบางอย่าง และทำให้พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้อีก ซึ่งกลไกที่ทำให้เกิดสถานะเสริม (synergy) นี้เกิดจากสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ที่ถูกดูดซับเปลี่ยนเป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ สาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาต่อกัน (interaction) ระหว่างผงถ่านกัมมันต์และกลุ่มจุลินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Robertaccio และคณะ (1972, 1973, 1978, 1979 อ้างถึงใน Sublette และคณะ, 1982) ที่พบว่า กระบวนการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบตะกอนเร่งสามารถกำจัดบีโอดี ซีโอดี และสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากได้ดีกว่าระบบเดิมอากาศแบบตะกอนเร่งที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Perrotti และ Rodman (1973 อ้างถึงใน Zhang และคณะ, 1991) ที่ได้กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับการฟื้นฟูสภาพทางชีวภาพของผงถ่านกัมมันต์ (bioregeneration) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่แบคทีเรียหลั่งออกมาและแพร่เข้าไปในรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์ และทำปฏิกิริยากับสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งจะได้สารที่ถูกดูดซับได้ต่ำ จึงทำให้เกิดการปลดปล่อยสารที่ถูกดูดซับออกมา (desorption) นอกจากรูพรุนของผงถ่านกัมมันต์และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ต่อไป และเมื่อใช้ linear regression ประเมินกราฟเส้นตรงระหว่าง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์จะได้สมการ

$$y = 0.0016x + 71.97 \quad (3)$$

โดยที่

$$y = \text{ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (\%)}$$

$$x = \text{ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัม/ลิตร)}$$

จากสมการ (3) จะได้กราฟเส้นตรงที่มีค่าความชันเท่ากับ 0.0016 หมายถึง ผงถ่านกัมมันต์เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้มากกว่าระบบเดิมอากาศแบบครึ่งฟิล์ม ที่ไม่ได้เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0.0016 เท่าของความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ ค่าที่กราฟตัดแกน Y คือ ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0 มก./ล. ซึ่งเท่ากับ 71.97 % และจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0 มก./ล. มีค่าเท่ากับ 72.8 ± 7.5 % เมื่อเปรียบเทียบกับค่าประมาณด้วยกราฟเส้นตรง จะเห็นได้ว่าใกล้เคียงกัน แต่การเติมผงถ่านกัมมันต์เพิ่มในระบบเดิมอากาศแบบครึ่งฟิล์มไม่ควรเติมเกิน 6848 มก./ล. ซึ่งได้จากผลการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีของผงถ่านกัมมันต์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน เพราะจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และจากการสังเกตเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเดิมอากาศแบบครึ่งฟิล์มให้มากกว่า 5500 มก./ล. พบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านถังตกตะกอนเริ่มจะมีตะกอนทั้งตะกอนเชื้อและตะกอนผงถ่านกัมมันต์หลุดออกมาด้วย ซึ่งคาดว่าขนาดของถังตกตะกอนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ไม่สามารถ

รับภาระของแข็ง (solids loading) ที่เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจึงเสนอแนะให้ขยายขนาดของถังตกตะกอนหรือกรองน้ำทิ้งที่ผ่านถังตกตะกอนเพื่อวัดค่าซีไอดีในรูปละลายน้ำสำหรับนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีกับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์

4. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาถึงผลของผงถ่านกัมมันต์ที่เติมลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ที่มีต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้น้ำเสียจริงที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบาน ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวมีค่าซีไอดีอยู่ในช่วง 673 – 1,383 มก./ล. และผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้มีค่า iodine number 950 สามารถสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติมได้ดังนี้

4.1 สรุปผลการทดลอง

1. ผงถ่านกัมมันต์ 1 กรัม สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีไอดีของตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบาน ได้ 5.4 มก. ที่ความเข้มข้นซีไอดีที่เหลืออยู่ในน้ำเสียเท่ากับ 120.0 มก./ล.

2. ผงถ่านกัมมันต์ 1 กรัม สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในรูปของซีไอดีของตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วจากโรงงานผลิตสีทาบาน ได้ 18.0 มก. ที่ความเข้มข้นซีไอดีที่เหลืออยู่ในน้ำเสียเท่ากับ 120.0 มก./ล.

3. จากการทดลองที่ 1 ชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000 มก./ล. ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ที่ระยะเวลาถักน้ำ 48 ชม. อายุตะกอน 30 วัน สามารถกำจัดซีไอดีโดยเฉลี่ยได้เท่ากับ 76.6 ± 4.4 และ 82.3 ± 3.0 % ตามลำดับ และมีค่าซีไอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วเฉลี่ยเท่ากับ 221.6 ± 28.1 และ 168.3 ± 22.0 มก./ล. ตามลำดับ โดยค่าซีไอดีของน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ยเท่ากับ 979.3 ± 217.3 มก./ล. เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี พบว่าระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่เติมผงถ่านกัมมันต์ สามารถกำจัดซีไอดีได้เพิ่มขึ้นจากระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 5.7 ± 2.1 %

4. จากการทดลองที่ 2 ชุดทดลองที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์และชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. ลงในระบบเดิมอากาศแบบตรึงฟิล์ม ที่ระยะเวลาถักน้ำ 48 ชม. อายุตะกอน 30 วัน สามารถกำจัดซีไอดีได้เท่ากับ 72.8 ± 7.5 , 75.9, 78.4, 79.0 และ 83.6 % ตามลำดับ และมีค่าซีไอดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วเท่ากับ 253.6 ± 67.6 , 215.0, 174.0, 171.0 และ 146.0 มก./ล. ตามลำดับ โดยค่าซีไอดีของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 942.1 ± 136.6 , 935.2,

807.0, 816.0 และ 891.0 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี พบว่าระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่เติมผงถ่านกัมมันต์ สามารถกำจัดซีโอดีได้เพิ่มขึ้นจากระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 3.1, 5.6, 6.2 และ 10.8 % ตามลำดับ ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผงถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีเพิ่มขึ้นไม่มากนัก

5. ระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4000, 4500, 5000 และ 5500 มก./ล. มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ ถึงแม้ว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงมีค่าซีโอดีเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ออกตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 ที่กำหนดให้น้ำทิ้งมีค่าซีโอดีไม่เกิน 120 มก./ล. แต่จะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้ผงถ่านกัมมันต์เพิ่มในกระบวนการดูดซับธรรมชาติต่อการบำบัดทางชีวภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำทิ้งที่ยังเกินค่ามาตรฐาน คิดเป็นเงินประมาณ 209, 270, 280 และ 360 บาท/ลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย ตามลำดับ (ราคาของผงถ่านกัมมันต์ 60 บาท/กก.)

4.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม

1. ควรมีการศึกษาถึงผลของผงถ่านกัมมันต์ที่เติมลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มที่มีคุณสมบัติของค่า iodine number ที่สูงขึ้น หรือเวลาพักน้ำที่มากกว่า 48 ชม. ที่มีต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย

2. ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผงถ่านกัมมันต์ที่เติมลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์มโดยเพิ่มความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ พิจารณานาขนาดของถังตกตะกอนให้สามารถรับภาระของแข็ง (solids loading) ที่เพิ่มขึ้นด้วย และ/หรือพิจารณาการกรองน้ำทิ้งที่ผ่านถังตกตะกอนเพื่อวัดค่าซีโอดีในรูปละลายน้ำ (soluble COD) สำหรับหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับความเข้มข้นของผงถ่านกัม

IMPROVEMENT OF TREATMENT EFFICIENCY OF ORGANIC MATTERS IN WASTEWATER FROM PAINT INDUSTRY BY ADDING POWDERED ACTIVATED CARBON IN FIXED FILM AERATION PROCESS.

KANCHIT CHUTIPAIARN 4936951 ENTM/M

M.Sc.(TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT)

THESIS ADVISORY COMMITTEE: USANEE UYASATIAN, M.Eng., WINAI NUTMAGUL, Ph.D.

EXTENDED SUMMARY

1. Introduction

1.1 Background and significance of the problems

Wastewater from paint factory is composed of slowly degradable organic compounds. This means that the BOD to COD ratio is low. Wastewater treatment process would require several steps. Typical treatment would at least include physical treatment process, chemical treatment process and biological treatment process. Since wastewater from paint factory composes of slowly degradable organic compounds, therefore, the wastewater treatment using only aeration system is not sufficient to treat the organic compounds in terms of COD to meet the effluent quality standard according to the Notification of Ministry of Industry No. 2 (B. E. 2539) issued under Factory Act B. E. 2535.

In general, slowly degradable organic compounds are treated by carbon adsorption. The use of the granular activated carbon (GAC) and powdered activated carbon (PAC) are very expensive in terms of capital cost and regeneration cost.

The process by which PAC is added into the activated sludge system is called the powdered activated carbon treatment process (PACT). Flynn (1974, 1975, as cited in Sublette et al, 1982) reported that the activated sludge system with the addition of PAC could remove non-biodegradable, adsorbable and slowly biodegradable, adsorbable compounds better than the conventional activated sludge system. The reduction of non-biodegradable, adsorbable compounds resulted from the carbon adsorption. While slowly biodegradable, adsorbable compounds were degraded through some mechanism and the surface of activated carbon could be regenerated. This synergism was developed as non-biodegradable compounds were transformed to biodegradable ones via the interaction between the activated carbon and the microorganisms. Perrotti and Rodman (1974, as cited in Zhang et al, 1991) established a hypothesis that desorption was caused by exoenzymatic reaction. According to this hypothesis, although bacteria are too large to stay in the micropores of activated carbon, they can secrete some enzymes which could easily diffuse into the micropores and react with the adsorbed substrate. Due to weak adsorbability of the reaction products, the substrate would be desorbed and further degraded by microorganisms.

A fixed film aeration process has been used to remove organic matters in wastewater. Wanner et al. (1988) found that this process, which was a combination of activated sludge process and fixed film process, would enhance the sludge settlement and inhibited the growth of filamentous microorganisms. Gebara (1999) also found that not only the efficiency of sludge settlement was increased, the BOD removal was also better. Furthermore, it also reduced the construction cost.

With all above reasons, this research was aimed to compare the treatment efficiency of the fixed film aeration system with PAC and the one without PAC. The results of the research might be used to improve wastewater treatment system of paint industry.

1.2 The purposes of the research

1. To study the efficiency of removing slowly biodegradable organic compounds in wastewater from paint industry by adding powdered activated carbon in a fixed film aeration system in comparison with the same system without powdered activated carbon.

- 2 . To compare the cost of COD removal using powdered activated carbon in a fixed film aeration system and the system without powdered activated carbon.

1.3 Conceptual framework

The addition of powdered activated carbon in fixed film aeration treatment system may cause the synergistic condition due to the interaction between activated carbon and the microorganisms. This interaction could enhance the removal of slowly biodegradable compounds in wastewater from paint factory, compared with conventional fixed film aeration system followed by activated carbon adsorption. If this assumption is correct, it could save the construction cost of adsorption treatment unit and the cost of activated carbon or the cost of activated carbon regeneration. In addition, the effluent COD might meet the effluent quality standard.

1.4 Scope of the study

1. Determine the adsorption isotherms of organic compounds in terms of COD of activated carbon in the effluents from chemical treatment process and from biological treatment process of paint factory.

2. Study the COD removal efficiency of the fixed film aeration system with the addition of powdered activated carbon at the retention time of 48 hrs (Since the wastewater from paint factory contains slowly biodegradable compounds, therefore the hydraulic retention time, hydraulic retention time (HRT) should be greater than normal (24 hrs) This study employed HRT of 48 hours).

1.5 Expected results

1. To obtain the appropriate amount of powdered activated carbon added in the fixed film aeration system in order to treat slowly biodegradable organic compounds in the effluent of paint factory's chemical treatment process by adsorption process.

2. To get information for treatment of wastewater containing slowly biodegradable organic compounds in paint factory and others which has the problem of COD greater than the effluent quality standard according to the Notification of Ministry of Industry No. 2 (B. E. 2539) issued under Factory Act B. E. 2535.

2. Methodology

The laboratory scale treatment system was used in the experiment. The experimental set was consistent with the typical wastewater treatment plant of paint factory. The wastewater sample used was the effluent from paint factory's chemical treatment process using FeCl_3 and anionic polymer. Two sets of experiments (set 1 was the controlled set without the addition of PAC for comparison purpose; set 2 was an experimental set with the addition of PAC) were set as fixed film aeration system with continuous flow. Independent variable was the concentration of powdered activated carbon in the aeration tank. The controlled parameters and their values are shown in Table 1.

Table 1 The controlled parameters and their values

Controlled parameters	Values
pH	6-8
COD _{inf} (mg/L)	750-1,500
HRT (hr)	48
Feed rate of wastewater (L/hr)	2.5
SRT (day)	30
DO (mg/L)	≥ 4

2.1 Experimental equipment

The fixed film aeration system in laboratory scale consisted of the following items.

1. Equalization tank of 260 L (Tema brand, model ROT260A-L125) was used for wastewater sample storage, made of polyethylene. 1 set.
2. Metering pump (ProMinent brand, model CNPA0308PVT209A01) had feed rate of 8.5 L/hr at 3.0 bar. It was used for pumping wastewater from equalization tank to aeration tanks. 2 sets.
3. Aeration tank was made of clear plastic with the volume of 120 L. It consisted of 42-L plastic media, hoses, nozzles and sand stick type air diffuser. 2 sets.
4. An aerator, NITTO (MEDO) brand, model LA-45B, was used for supplying air at the net volume of 45 L/min to microorganisms in the both aeration tanks.
5. Plastic media was filled in the aeration tank with the volume of 42 L/tank (35% of tank volume).
6. Sedimentation tank was a circular tank with the inverted cone form at the bottom, made of clear plastic. The diameter and volume were 0.20 m. and 7.5 L, respectively. 2 sets.
7. Two sets of 100-L effluent tanks (Tema brand, model CEN100B-L5X6) were used to store the effluent from wastewater treatment system. They were made of polyethylene.
8. Powdered activated carbon had the iodine number 950. The amount of powdered activated carbon used in the experiment was about 30 kg.

2.2 The experimental steps

2.2.1 Determination of adsorption isotherm

The determinations of the adsorption isotherms of organic compounds in terms of COD of activated carbon in the effluents from chemical treatment process and from biological treatment process of paint factory were performed according to ASTM D 3860 - 89a (Reapproved 1993) standard practice. The determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique was carried out as follows.

1. First, tested with the effluent from paint factory's chemical treatment process. Started the experiments by adding 100 ml of effluent from paint factory's chemical treatment process to each of ten 500-ml Erlenmeyer flasks. Then, added 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0 and 20.0 g of powdered activated carbon into the Erlenmeyer flasks to achieve the concentration of 0, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 20000, 50000, 100000 and 200000 mg/L, respectively. In the second isotherm test with effluent from paint factory's biological treatment process, the procedure was the same as the first isotherm test.

2. Swirled the flask to wet the carbon. Allowed each flask to stir for 2 hrs at room temperature.

3. Filtered each test and control samples through Whatman GF / C filter paper, and then analyzed the filtrates for COD value.

4. Calculated the x/m by using $x/m = (C_o - C_e) V/m$ equation and used x/m and C_e for plotting the isotherm lines on the log-log paper.

$x / m =$ amount of COD adsorbed per weight of powdered activated carbon (mg/g)

$C_o =$ concentration of COD before adsorption (mg/L)

$C_e =$ concentration of COD after adsorption (mg/L)

V = volume of sample taken for experiment (ml)

2.2.2 Start up the experiment

To prepare microorganisms for the experiment, 60 L of sludge and 42 L of plastic medium from paint factory's aeration tank were put into each experimental aeration tank. Filled the tank with the effluent from paint factory's chemical treatment process, then turned on the aerator. Started continuously feeding the effluent from paint factory's chemical treatment process for culturing microorganisms. Then, collected wastewater samples and analyzed for parameters such as pH, COD and MLSS until the system reached steady state. This could be noticed from the COD removal efficiency.

2.2.3 Experiment

In this experiment, both sets of the wastewater treatment system were operated. Powdered activated carbon was not added to the aeration tank for set 1 (controlled set) but was added for set 2 (experimental set). The experiment was run at the wastewater flow rate of 2.5 L/hr.

First experiment

In both sets of the experiment, HRT was controlled at 48.0 hour. In set1 (controlled set), powdered activated carbon was not added to the aeration tank. While in set 2 (experimental set), 480 g (4000 mg/L) of powdered activated carbon was added. This concentration of powdered activated carbon was selected based on the results of the determination of adsorption isotherms of organic compounds in terms of COD of powdered activated carbon in effluent from paint factory's biological treatment process. The system was continuously operated until it was in steady state. Powdered activated carbon was added at 16 g/day to compensate for the lost PAC in the sludge discharged from the aeration tank to keep sludge age of 30 days.

Second experiment

Proceeded the second experiment from the first one by holding wastewater in both sets for 48.0 hour. In set 1, no powdered activated carbon was added to the aeration tank while 4000 mg / L of powdered activated carbon was initially added to aeration tank of the set 2. For set 2, 16 g/day of powdered activated carbon was added in order to compensate for the lost PAC in the sludge discharged from the aeration tank to maintain the sludge age of 30 days and another 6 g/day (50 mg/L) of powdered activated carbon was also added to achieve the concentration of 4500, 5000 and 5500 mg/L.

3. Results and discussion

3.1 The results for adsorption isotherm

From the results of the adsorption isotherms, the coefficient of determination (R^2) of Freundlich adsorption isotherm in the effluents from chemical treatment process of paint factory was 0.9890, which was higher than that of Langmuir adsorption isotherm. Therefore, the equation of Freundlich was used.

$$x/m = 0.0001 C_e^{2.2762} \quad (1)$$

From the above equation, it was found that 1 g of powdered activated carbon could adsorb 5.4 mg of COD while the concentration of remaining COD in the wastewater was 120 mg/L. The constants K_f and $1/n$ were 0.0001 and 2.2762, respectively. It has been shown by McKay et al. (1982, as cited in Melgoza-Aleman and Morales-Guzman, 2009) that the n value between 2 and 10 indicates beneficial adsorption. Therefore powdered activated carbon in this test had very low adsorption capacity.

From the results of the adsorption isotherms, the coefficient of determination (R^2) of Freundlich adsorption isotherm in the effluents from biological

treatment system of paint factory was 0.9944, which was higher than that of Langmuir adsorption isotherm. Therefore, the equation of Freundlich was used.

$$x/m = 0.7571 C_e^{0.6614} \quad (2)$$

From the above equation, it was found that 1 g of powdered activated carbon could adsorb 18 mg of COD while the remaining COD concentration in the wastewater was 120 mg/L. The value of K_f and $1/n$ were 0.7571 and 0.6614, respectively. Therefore powdered activated carbon in this test had rather low adsorption capacity.

The concentration of powdered activated carbon used in the aeration tank of set 2 (experimental set) was calculated from the following equation.

$$\begin{aligned} x/m &= 18 \quad \text{mg/g} \\ m &= ((243-120) \text{ mg COD/L}) / (18 \text{ mg COD /g activated carbon}) \\ &= 6848 \quad \text{mg/L} \end{aligned}$$

The concentration of powdered activated carbon used should not exceed 6848 mg/L. Therefore, the concentration of powdered activated carbon at 4000 mg /L was chosen.

3.2 The results of adding powdered activated carbon in fixed film aeration system to remove organic matter

First experiment This experiment was carried out by setting the retention time of 48 hours for both sets. In set 1 (controlled set) powdered activated carbon was not added to the aeration tank. For set 2 (experimental set) 480 g (4,000 mg/L) powdered activated carbon was added. The concentration of powdered activated carbon was chosen from the results of the adsorption isotherms of organic compounds as COD of powdered activated carbon in effluent from paint factory's biological treatment process. The system was continuously operated until it reached steady state. Powdered activated carbon was added at 16 g/day to compensate for the lost PAC in the sludge discharged from the aeration tank to keep sludge age of 30 days. The

influent (effluent from paint factory's chemical treatment process) and effluent characteristics of the two sets are shown in Table 2. COD of the effluent from paint factory's chemical treatment process was 979.3 ± 217.3 mg/L. COD of the effluent from the controlled set was 221.6 ± 28.1 mg/L and COD of the effluent from the experimental set was 168.3 ± 22.0 mg/L, which was the average value after the system reached steady state for 20 days, from January 17 to February 5, 2009.

Table 2 Characteristics of the influents and effluents and conditions in aeration tanks of the controlled set and experimental set (adding powdered activated carbon at 4,000 mg/L) with the retention time of 48 hrs

Wastewater characteristics			Parameters							
			pH	DO (mg/l)	SV-30 (ml/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	MLSS (mg/l)	MLVSS (mg/l)
Influent		Mean	6.9	-	-	979.3	414.5	95.5	-	-
		S.D	0.2	-	-	217.3	-	73.7	-	-
Conditions in aeration tank	Without powdered activated carbon	Mean	7.7	6.9	513.0	-	-	-	3,382	5,493
		S.D	0.2	0.2	85.2	-	-	-	856	-
	Adding powdered activated carbon	Mean	7.7	6.9	245.0	-	-	-	3,979	5,096
		S.D	0.2	0.3	39.0	-	-	-	704	-
Effluent	Without powdered activated carbon	Mean	-	-	-	221.6	5.0	29.8	-	-
		S.D	-	-	-	28.1	-	16.2	-	-
	Adding powdered activated carbon	Mean	-	-	-	168.3	3.6	19.3	-	-
		S.D	-	-	-	22.0	-	7.7	-	-

Second experiment This experiment was carried out by setting the retention time of 48 hrs. for both sets. In set 1 (controlled set) powdered activated carbon was not added to the aeration tank while 4,000 mg/L powdered activated carbon was added to the aeration tank of set 2 (experimental set). For set 2, additional 16 g/day of powdered activated carbon was added in order to compensate for the lost PAC in the sludge discharged from the aeration tank to maintain the sludge age of 30

days and another 6 g/day (50 mg/l) of powdered activated carbon was also added to achieve the concentration of 4500, 5000 and 5500 mg/L. The influent (effluent from paint factory's chemical treatment process) and effluent characteristics of both sets are shown in Table 3. COD of the effluent from paint factory's chemical treatment process was 942.1 ± 136.6 mg/L. COD of the effluent from the controlled set was 253.6 ± 67.6 mg/L and COD of effluents from the experimental set by adding powdered activated carbon at 4000, 4500, 5000 and 5500 mg/L were 215.0, 174.0, 171.0 and 146.0 mg/L respectively.

Table 3 Characteristics of the influents and effluents and conditions in aeration tanks of the controlled set and experimental set (adding powdered activated carbon at 4000, 4500, 5000 and 5500 mg/L) with the detention time of 48 hrs

Wastewater characteristics			Parameters							
			pH	DO (mg/l)	SV-30 (ml/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	MLSS (mg/l)	MLVSS (mg/l)
Influent		Mean	7.3	-	-	942.1	552.7	36.8	-	-
		S.D	0.2	-	-	136.6	-	57.4	-	-
Conditions in aeration Tank	Without powdered activated carbon	Mean	7.9	6.5	469.4	-	-	-	2,859	2,086
		S.D	0.2	0.7	48.2	-	-	-	280.1	-
	Adding powdered activated carbon (mg/L)	4000	8.1	4.8	350.0	-	-	-	3,085	-
		4500	8.2	7.3	300.0	-	-	-	3,424	2,710
		5000	8.0	7.0	250.0	-	-	-	3,152	2,790
		5500	8.0	7.1	250.0	-	-	-	3,730	3,242
	Effluent	Without powdered activated carbon	Mean	-	-	-	253.6	15.3	59.1	-
			S.D	-	-	-	67.6	-	36.6	-
		Adding powdered activated carbon (mg/L)	4000	-	-	-	215.0	-	24.0	-
			4500	-	-	-	174.0	15.0	13.0	-
			5000	-	-	-	171.0	5.3	13.0	-
			5500	-	-	-	146.0	7.8	28.0	-

3.3 COD removal efficiency of fixed film aeration system with adding powdered activated carbon

From the results of the first experiment, the average COD of influent (the effluent from paint factory's chemical treatment process) was 979.3 ± 217.3 mg/L. The average COD of effluent from the controlled set (without powdered activated carbon) was 221.6 ± 28.1 mg/L and the average COD of effluent from the experimental set (adding powdered activated carbon at 4000 mg/L) was 168.3 ± 22.0 mg/L. The COD removal efficiency of the controlled and experimental sets were 76.6 ± 4.4 and 82.3 ± 3.0 %, respectively. Therefore, the removal efficiency was increased by 5.7 ± 2.1 % because of the addition of 4000 mg/L powdered activated carbon to fixed film aeration system, as shown in Table 4.

Table 4 COD removal efficiency of the first experiment without and with adding powdered activated carbon at 4,000 mg/L, retention time of 48 hrs

Experimental set		COD (mg/L)		COD removal efficiency (%)	COD removal efficiency increased . (%)
		Influent	Effluent		
Set 1	Without powdered activated carbon	979.3 ± 217.3	221.6 ± 28.1	76.6 ± 4.4	-
Set 2	Adding powdered activated carbon at 4,000 mg/L	979.3 ± 217.3	168.3 ± 22.0	82.3 ± 3.0	5.7 ± 2.1

From the results of the second experiment, the average COD of influent (the effluent from paint factory's chemical treatment process) for the controlled set (without powdered activated carbon) was 942.1 ± 136.6 mg/L and the average COD of effluent from this set was 253.6 ± 67.6 mg/L. COD of the influents (the effluent from paint factory's chemical treatment process) for the experimental set with adding powdered activated carbon at 4000, 4500, 5000 and 5500 mg/L were 891.0, 807.0, 816.0 and 891.0 mg/L, respectively and those of effluent COD were 215.0, 174.0,

171.0 and 146.0 mg/L, respectively. So, COD removal efficiency of experimental set with adding powdered activated carbon at 0, 4000, 4500, 5000 and 5500 mg/L were 72.8 ± 7.5 , 75.9, 78.4, 79.0 and 83.6 %, respectively. Therefore, the removal efficiencies were increased by 3.1, 5.6, 6.2 and 10.8 % because of the addition of powdered activated carbon to fixed film aeration system at 4000, 4500, 5000 and 5500 mg/L, respectively, as shown in Table 5.

Table 5 COD removal efficiency of the second experiment without and with adding powdered activated carbon at 4000, 4500, 5000 and 5500 mg/L, retention time of 48 hrs

Experimental set			COD (mg/L)		COD removal efficiency (%)	COD removal efficiency increased. (%)
			Influent	Effluent		
Set 1	Without powdered activated carbon		942.1 $\pm$ 136.6	253.6 $\pm$ 67.6	72.8 ± 7.5	-
Set 2	Adding powdered activated carbon starting at 4000 mg/L and add 50 mg/L per day	4,000 mg/L	891.0	215.0	75.9	3.1
		4,500 mg/L	807.0	174.0	78.4	5.6
		5,000 mg/L	816.0	171.0	79.0	6.2
		5,500 mg/L	891.0	146.0	83.6	10.8

From Table 5, it shows that adding more activated carbon in a fixed-film aeration system could enhance COD removal efficiency. The adsorbed COD could be degraded through some mechanism and surface of activated carbon could be regenerated. This synergism was developed by refractory organic compounds were transformed to biodegradable ones via interaction between activated carbon and microorganisms. These results correspond with the studies of Robertaccio et al. (1972, 1973, 1978, 1979, as cited in Sublette et al., 1982) which showed that process of adding activated carbon into an activated sludge system could improve the removal of

BOD, COD, and refractory substances. Perrotti and Rodman (1974, as cited in Zhang et al, 1991) established a hypothesis concerning bioregeneration that regenerated surface of activated carbon or desorption was caused by exoenzymatic reaction. According to this hypothesis, although bacteria are too large to stay in micropores of activated carbon but they can release some enzymes which could easily diffuse into the micropores and react with the adsorbed substrate. Due to this reaction, the substrate would be desorbed and further degraded by microorganisms.

Linear regression was employed to estimate the relationship between efficiency of COD removal and concentration of powdered activated carbon as shown in equation (3).

$$y = 0.0016x + 71.97 \quad (3)$$

where y = COD removal efficiency (%)

x = concentration of activated carbon (mg/L)

From equation (3), a straight line with a slope of 0.0016 is obtained. It means that a fixed film aeration system with adding powdered activated carbon could remove COD better than the system without adding powdered activated carbon by 0.0016 times concentration of powdered activated carbon. Y axis intercept is COD removal efficiency at the concentration of powdered activated carbon 0 mg/L, which is equal to 71.97%. The experimental results showed that COD removal efficiency at concentration of powdered activated carbon 0 mg/L was equal to $72.8 \pm 7.5\%$ which is close to the estimated value. Powdered activated carbon added to a fixed film aeration system should not exceed 6848 mg/L because the experimental results from the adsorption isotherms of COD of powdered activated carbon in effluent from paint factory's biological treatment system showed that it is unnecessary. From observation of increasing concentration of activated carbon in the fixed film aeration system to more than 5500 mg/L, it was found that there are some sediment, of both sludge sediment and powdered activated carbon sediment, mixing with the effluent from the sedimentation tank. It is expected that the size of the sedimentation tank used in this study cannot serve increasing solids loading. Therefore for further study, it is recommended that size expansion of the sedimentation tank or filtration of effluent from sedimentation tank to measure COD in soluble form in order to estimate the

relationship between COD removal efficiency and the concentration of powdered activated carbon should be conducted.

4. Conclusions and recommendations

The study of the effects of adding powdered activated carbon in a fixed film aeration system on the efficiency of the wastewater treatment was conducted. Treated wastewater from paint factory's chemical treatment process was used as an influent. Their COD were in the range of 673 to 1383 mg/L. Powdered activated carbon used had iodine number 950. The conclusions and recommendations for further study are as follows:

4.1 Conclusions

1. One gram of powdered activated carbon could adsorb 5.4 mg of COD in the samples of treated wastewater from paint factory's chemical treatment process with remaining COD concentration of 120 mg/L.

2. One gram of powdered activated carbon could adsorb 18 mg of COD in the samples of treated wastewater from paint factory's biological treatment process with remaining COD concentration of 120 mg/L.

3. In the first experiment, the fixed film aeration system without powdered activated carbon (PAC) could remove COD by 76.6 ± 4.4 % and the average effluent COD was 237.6 ± 47.9 mg/L. While the one with an addition of 4,000 mg/L PAC could remove COD by 82.3 ± 3.0 % and the average effluent COD was 168.3 ± 22.0 mg/L. Both systems were run at the retention time of 48 hrs and the sludge age of 30 days. Considering the average concentration of influent COD at 979.3 ± 217.3 mg/L, the PAC addition could enhance the COD removal efficiency by 5.7 ± 2.1 %.

4. In the second experiment, the fixed film aeration system without the addition of PAC (0 mg/L) and with PAC at the concentration of 4000, 4500, 5000,

5500 mg/L had the influent COD of 942.1 ± 136.6 , 935.2, 807.0, 816.0 and 891.0 mg/L, respectively. With the retention time of 48 hrs and the sludge age of 30 days, the effluent COD were 253.6 ± 67.6 , 191.7, 174.0, 171.0 and 146.0 mg/L, respectively. These showed the COD removal of 76.6 ± 4.4 , 75.9, 78.4, 79.0 and 83.6 %, respectively. Comparing with the system without PAC, it was concluded that the addition of PAC could improve the COD removal efficiency by 4.1, 5.3, 5.9 and 10.5 %, respectively.

5. Fixed film aeration system with the addition of powdered activated carbon at 4000, 4500, 5000, 5500 mg/L had better performance than the one with no addition, even though the effluent COD still exceeded effluent quality standard from industry according to the Notification of Ministry of Industry No. 2 (B.E. 2539) issued under Factory Act B.E. 2535 (not more than 120 mg/L). However, cost of additional use of powdered activated carbon in ordinary absorption unit after biological treatment to remove COD in the effluent to meet the standard could be saved by about 209, 270, 280 and 360 baht/m³ of wastewater, respectively (the cost of powdered activated carbon was 60 baht/kg).

4.2 Recommendations for further study

1. The effect of adding powdered activated carbon with higher iodine numbers or with greater retention time than 48 hrs on the treatment efficiency of the fixed film aeration system should be studied.

2. The study of increasing the concentration of powdered activated carbon in the fixed film aeration system should be conducted with increased size of sedimentation tank (based on increased solids loading) and/or filtration of treated wastewater from the sedimentation tank to determine COD in soluble form for estimating the relationship between COD removal efficiency and the concentration of powdered activated carbon.

รายการอ้างอิง

- กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์. (2539). *การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบแยกทึบเต็ดสัจฉ์ในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันกุลเวศม์. (2526). วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริลักษณ์ สิริ. (2544). *ประสิทธิภาพของระบบบำบัดร่วมระหว่างฟิล์มชีวะกับระบบตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียชุมชน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อรอุษา สรวารี. (2544). *สารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแล็กเกอร์)*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- APHA, AWWA and WEF. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (21st ed.). Washington D.C.: American Public Health Association.
- ASTM D 3860-89a (Reapproved 1993). *Standard Practice for Determination of Adsorptive Capacity of activated carbon by Aqueous Phase Isotherm Technique*.
- Aktas, ö. and çecçen, F. (2001). Addition of activated carbon to batch activated sludge reactors in the treatment of landfill leachate and domestic wastewater. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 76, 793-802.
- Cheremisinoff, P.N. and Ellerbusch, F. (1978). *Carbon Adsorption Handbook*. Ann Arbor, Michigan: Ann Arbor Science.
- Dewalle, F.B. and Chain, E.S.K. (1977). Biological regeneration of powdered activated carbon added to activated sludge units. *Water Research*. 11, 439-446.
- Escritt L.B. (1965). *Sewage and Sewage Disposal*. (3rd ed.). Calcutta: Oxford and IBH Publishing Company. 392-413.

- Flynn, B.P. and Stadnik, J.G. (1979). Start-up of a powdered activated carbon activated sludge treatment system. *Journal of Water Pollution Control Federation*. 51, 358-369.
- Flynn, B.P., Robertaccio, F.L. and Barry, L.T. (1976). Truth or consequences: Biological fouling and other considerations in powdered activated carbon-activated sludge system. *Proceedings of the 31st Industrial Waste Conference*. Purdue University. 855-862.
- Gebara, F. (1999). Activated sludge biofilm wastewater treatment system. *Water Research*. 33 (1), 230-238.
- Jiang, R. and Huang, B. (1982). An investigation on suitable porous structure of activated carbon used in aqueous phase. A report presented at *Chinese National Ozone and Activated Carbon Techniques Conference*. Fushun, China. (in Chinese).
- McKay, G., Blair, H.S. and Gardener, J.K. (1982). Adsorption of dyes on chitin, equilibrium studies, *Journal of Applied Polymer Science*. 27, 3043-3057.
- Meidl, J. and Burant, W. (1974). Biophysical wastewater treatment Using Powdered Carbon. *Ohio Water Pollution Control Conference*. Cincinnati, OH.
- Melgoza-Aleman, R.M., Morales-Guzman, F. (2009). Effect of activated carbon on the biodegradability of direct azo dyes in a sequential batch reactor under anaerobic/aerobic environments, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 3(4), 3677-3683.
- Metcalf and Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. (4th ed.). Revised by Tchobanoglous. G., Burton, F.L. and David, S.H. New York: McGraw-Hill International Edition. 952-957, 1139-1162.
- Perrotti, A.E. and Rodman, C.A. (1973). Factors involved with biological regeneration of activated carbon. Paper presented at the *75th National Meeting of the American Institute of Chemical Engineering*. Detroit, MI.
- Rice, R.G. and Robson, C.M. (1982). *Biological Activated Carbon Enhanced Aerobic Biological Activity in GAC Systems*. Arbor, Michigan: Ann Arbor Science.
- Robertaccio, F.L. (1973). Powdered carbon addition to biological reactors. Paper presented at the *Sixth Mid-Atlantic Industrial Waste Conference*. University of Delaware, Newark, DE.

- Robertaccio, F.L. (1978). Combined powdered activated carbon-biological treatment: Theory and results. *Proceedings of the Second Open Forum on Management of Petroleum Refinery Wastewater*. U.S. Environmental Protection Agency, EPA-600/2-78-058, 325-343.
- Robertaccio, F.L. (1979). Combined powdered activated carbon-biological treatment: Theory and results. *Activated Carbon Treatment of Industrial Wastewaters*. U.S. Environmental Protection Agency, EPA-600/2-79-177, 135-153.
- Robertaccio, F.L., Grulich G., Hutton, D.G. and Glotzer, H.L. (1972). Treatment of organic chemicals plant wastewater with du Pont PACT process. Paper presented at the *70th National Meeting of the American Institute of Chemical Engineers*. Dallas, TX.
- Shen, T. et al. (1980). *Biochemistry*. Beijing: People's Education. (in Chinese).
- Sublette, K.L., Snider, E.H. and Sylvester, N.D. (1982) A review of the mechanism of powdered activated carbon enhancement of activated sludge treatment. *Water Research*. 16, 1075-1082.
- Wallis, D.A. and Bolton, E.E. (1982). Biological regeneration of activated carbon. *American Institute of Chemical Engineering Journal*. 78, 64-70.
- Wanner, J., Kucman, K. and Grau P. (1988). Activated sludge process combined with biofilm cultivation. *Water Research*. 22 (2), 207-215.
- Yan, J. and Zang, Q. (1982). *Adsorption and Coacervation-Solid Surface and Pores*. Beijing: Science. (in Chinese).
- Zhang, X., Wang, Z. and Gu, X. (1991). Simple combination of biodegradation and carbon adsorption-the mechanism of the biological activated carbon process. *Water Research*. 25, 165-172.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายการคำนวณการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย
สำหรับการทดลองขนาดระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale)

1 ข้อมูลในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย

จากการรวบรวมข้อมูลมาหาค่าเพื่อใช้ในการออกแบบดังแสดงในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการออกแบบ

คุณลักษณะน้ำเสีย	ช่วงความเข้มข้น (มก./ล)	ค่าที่ใช้ (มก./ล)
BOD ₅	200 – 500	450
COD	750 – 1,250	1,250
SS	5- 30	30

2 ค่ากำหนดที่ใช้ในการออกแบบ

ค่ากำหนดในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย แสดงดังตารางที่ ก.2, ก.3

ตารางที่ ก.2 สัมประสิทธิ์จลน์ (kinetic coefficient) ของน้ำเสียในรูปของบีโอดี₅

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่ใช้
1. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_m)	g VSS/g VSS.d ⁻¹	3.2
2. สัมประสิทธิ์การสลายตัวจำเพาะ (k_d)	g VSS/g biomass.d ⁻¹	0.025
3. ความเข้มข้นที่ครึ่งความเร็ว (k_s)	g/m ³	9.0
4. สัมประสิทธิ์ปริมาณผลิต (Y)	g VSS/g COD	0.6

ที่มา : Metcalf and Eddy, Inc. (2003)

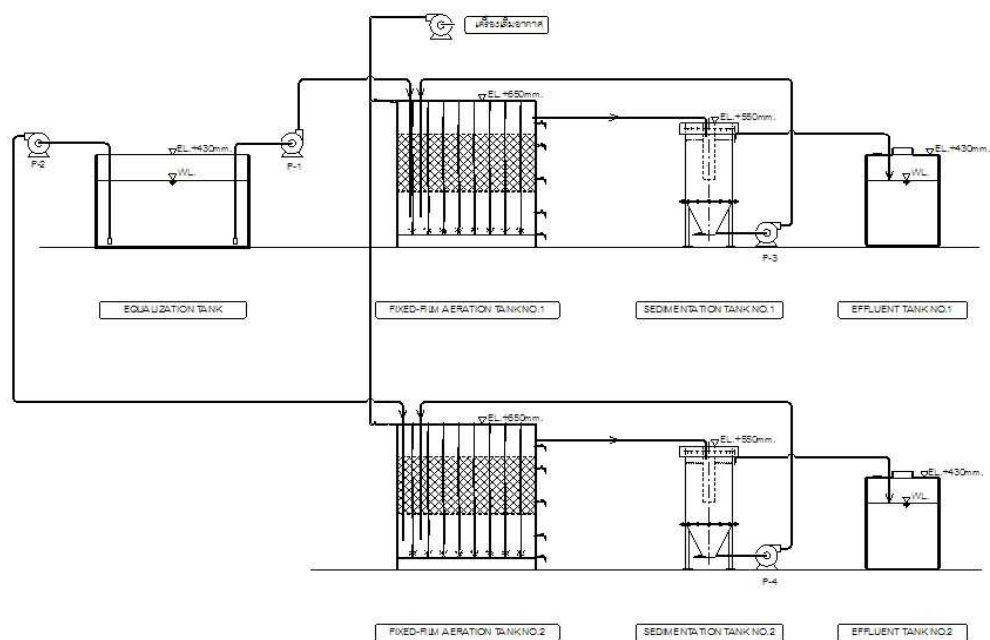
ตารางที่ ก.3 ค่ากำหนดในการออกแบบระบบตะกอนเร่งแบบยืดเวลา (extended aeration)

พารามิเตอร์	หน่วย	ช่วง
1. อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M)	กกBOD/กกMLVSS-วัน	0.04 – 0.15
2. ปริมาณจุลชีพแขวนลอย (MLSS)	มก./ล.	2,000 – 5,000
3. อายุสลัดจ์ (θ_c)	วัน	20 – 40
4. อัตราการระอินทรีย์	กกBOD/ลบ.ม.-วัน	0.1 – 0.3
5. เวลาพักพักชลศาสตร์	ชั่วโมง	20-30

ที่มา : Metcalf and Eddy, Inc. (2003)

3 หลักการและขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย

การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียในการวิจัยนี้เป็นระบบผสมระหว่างกระบวนการตะกอนเร่ง กระบวนการฟิล์มจุลชีพและกระบวนการดูดซับให้ทำงานร่วมกันในถังปฏิกรณ์เดียว ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบให้สูงขึ้น โดยมีส่วนประกอบหลักของระบบบำบัดน้ำเสีย (flow diagram) แสดงในรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 ส่วนประกอบหลักของระบบบำบัดน้ำเสีย (flow diagram) สำหรับการทดลองขนาดระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory scale)

3.1 บ่อปรับความเข้มข้นและอัตราการไหล (Equalization tank)

เพื่อรวบรวมน้ำเสีย ปรับอัตราการไหล และคุณลักษณะของน้ำทิ้งให้คงที่ก่อนเข้าระบบบำบัด น้ำที่ไหลออกจากบ่อปรับสภาพแล้วจะไหลเข้าสู่ถังเติมอากาศเพื่อทำการบำบัดต่อไป

3.2 ถังเติมอากาศ (Aeration tank)

วัตถุประสงค์ของการเติมอากาศนั้น เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้จุลินทรีย์ไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยภายในถังจะออกแบบให้ประกอบด้วยระบบบำบัด 2 แบบ คือ ระบบตะกอนเร่งและระบบฟิล์มจุลชีพ ซึ่งน้ำเสียจะไหลเข้าสู่ถังบำบัดด้านบนลงสู่ด้านล่าง (down flow) และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลลงด้านล่างออกไปสู่ถังตกตะกอน โดยในถังนี้มีตัวกลางพลาสติกเพื่อให้จุลชีพยึดเกาะ จมน้ำอยู่ในถังเติมอากาศ เพื่อให้ฟองอากาศในน้ำให้ค่อยๆ ผ่านจากด้านล่างสู่ด้านบนผ่านชั้นของตัวกลาง ทำให้เพิ่มระยะเวลาที่ฟองอากาศเคลื่อนที่ในน้ำได้ จึงมีการละลายของออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้น การนำตะกอนหมุนเวียนและตะกอนส่วนเกินเข้าและออกจากถังเติมอากาศได้โดยใช้เครื่องสูบลมตะกอนหมุนเวียน ซึ่งกระบวนการที่เกิดในถัง คือ คาร์บอนออกซิเดชันในการกำจัดค่าบีโอดีในตรีฟิเคชันในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน

3.3 ถังตกตะกอน (Sedimentation tank)

น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลจากถังเติมอากาศผ่านท่อไปยังถังตกตะกอน น้ำในส่วนบนจะไหลไปยังถังรองรับน้ำที่ผ่านการบำบัดออกจากระบบ ส่วนตะกอนจุลชีพที่ตกลงสู่ด้านล่างของถังจะย้อนกลับเข้าถังเติมอากาศได้อีกครั้งโดยใช้เครื่องสูบลมตะกอนหมุนเวียน

3.4 ถังรองรับน้ำที่ผ่านการบำบัดออกจากระบบ (Effluent tank)

หลังจากน้ำเสียผ่านการบำบัดแล้วจะไหลรวมกันไปยังถังรองรับน้ำ เพื่อรองรับน้ำที่ผ่านการบำบัดและปล่อยลงสู่ท่อสาธารณะหรือแหล่งรับน้ำต่อไป

4 รายการคำนวณระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

4.1 การหาอัตราการไหลของน้ำเสีย (Flow rate)

ปริมาณน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีทาบ้านขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนถังผสมสี (mixing) เนื่องจากต้องใช้น้ำในการล้างถังผสมสีเพื่อใช้ในการผสมสีรอบต่อไป ในการทดลองครั้งนี้จะออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียขนาด 2.5 ลิตรต่อชั่วโมง (60 ลิตรต่อวัน)

4.2 การหาค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (BOD loading)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น โดยเฉลี่ยค่าความสกปรกของสารอินทรีย์หรือบีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดทางเคมีที่ใช้ในการทดลองจากโรงงานผลิตสีทาบ้าน บริษัท บริติช เพ้นท์ส จำกัด ประมาณ 450 มก./ล.

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์} &= \text{อัตราการไหลต่อวัน} \times \text{ค่าความสกปรก} \\
 &= \frac{60 \text{ ล. /วัน} \times 450 \text{ มก./ล.บีโอดี}}{1,000 \text{ (มก./กก.)}} \\
 &= 0.027 \quad \text{กก.บีโอดี/วัน} \\
 \text{ค่าความสกปรกที่ต้องการกำจัด} &= \text{ค่าความสกปรก} - \text{ค่าที่ยอมรับได้} \\
 \text{(Total BOD removal)} &= 450 \text{ มก./ล.บีโอดี} - 20 \text{ มก./ล.บีโอดี} \\
 &= \frac{430 \text{ มก./ล.บีโอดี} \times 60 \text{ ล. /วัน}}{1,000 \text{ (มก. /กก.)}} \\
 &= 0.0258 \quad \text{กก.บีโอดี/วัน}
 \end{aligned}$$

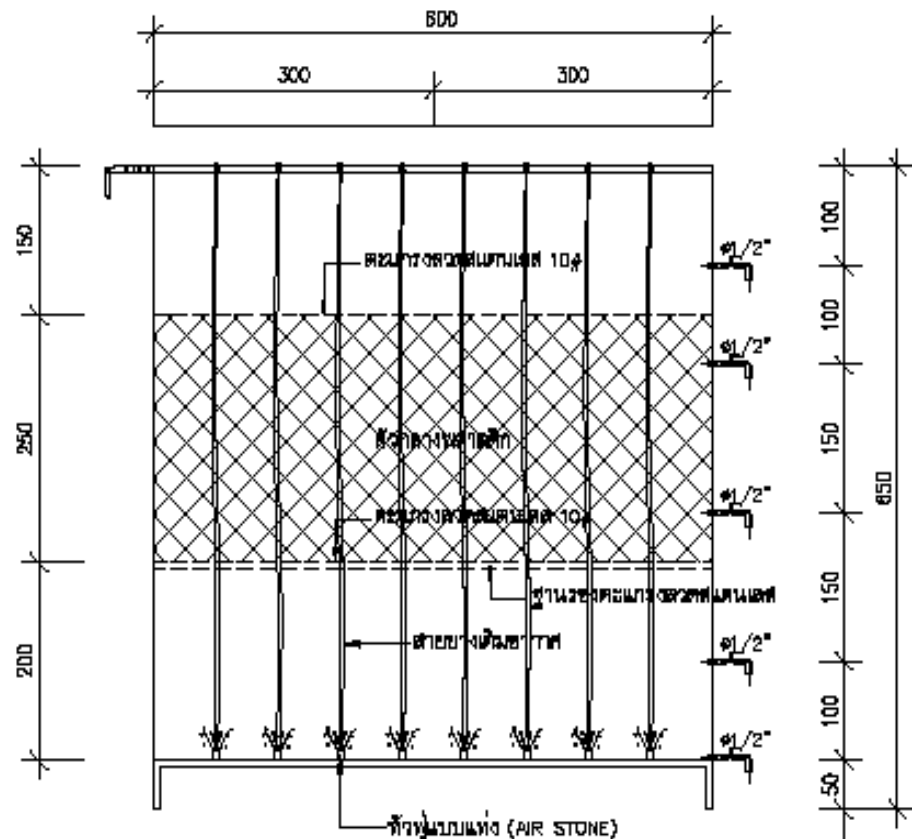
4.3 ถังปรับสภาพน้ำเสีย (Equalization tank)

ถังปรับสภาพน้ำเสีย เพื่อสำหรับปรับความเข้มข้นและอัตราไหลของน้ำให้สม่ำเสมอ ก่อนเข้าระบบบำบัด โดยในการทดลองครั้งนี้จะออกแบบให้ถังสามารถเก็บกักน้ำเสียได้ 48 ชั่วโมง เพื่อสามารถสูบน้ำเข้าระบบบำบัดน้ำเสียได้ตลอดทั้งวัน และใช้สำหรับการทดลอง 2 ระบบพร้อมกัน จึงนำมาคำนวณหาขนาดได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาในการเก็บกักของถัง (detention time)} &= 48 \quad \text{ชั่วโมง} \\
 \text{ขนาดของถัง (volume tank)} &= \frac{60 \text{ ล. /วัน} \times 48 \text{ ชม.} \times 2}{24 \text{ ชม. /วัน}} \\
 &= 240 \quad \text{ล.} \\
 \text{เลือกใช้ถังฟื้อขนาด} &= 260 \quad \text{ล.}
 \end{aligned}$$

4.4 ถังปฏิกริยาระบบตะกอนเร่งร่วมกับระบบฟิล์มจุลชีพ (Fixed film aeration)

ถังปฏิกริยาประกอบด้วย 2 ส่วนในถังใบเดียวกัน คือ ส่วนของการเติมอากาศเพื่อให้จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นแบบจุลชีพแขวนลอย และมีตัวกลางชีวภาพให้จุลชีพยึดเกาะแสดงในรูปที่ ก.2



หมายเหตุ: หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ ก.2 ถังปฏิกริยาระบบตะกอนเร่งร่วมกับระบบฟิล์มจุลชีพ (fixed film aeration)

โดย สามารถคำนวณหาขนาดได้ดังนี้

ค่าความเข้มข้นบีโอดี = 450 มก. /ล.

ระยะเวลาในการกักเก็บ = 48 ชม.

อัตราการไหลของน้ำเสีย = $\frac{\text{ปริมาตร}}{\text{ระยะเวลาในการเก็บกัก}}$

ปริมาตร = $\frac{60 \text{ ล. /วัน} \times 48 \text{ ชม.}}{24 \text{ ชม. /วัน}}$

= 120 ล.

4.5 ความสามารถของระบบตะกอนเร่งในการบำบัดความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Activated sludge capacity)

โดยทั่วไปวิศวกรผู้ออกแบบระบบจะเป็นผู้กำหนดช่วงการทำงานตั้งแต่เริ่มออกแบบ พร้อมทั้งกำหนดส่วนประกอบต่างๆ ให้สอดคล้องกันทั้งระบบ ดังนั้นจึงทำการออกแบบควบคุมระบบให้ทำงานในช่วงอัตราการบำบัดแบบยืดเวลา (extended rate) ซึ่งนิยมออกแบบสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่ย่อยสลายยาก โดยทั่วไปจะออกแบบการะบรทุกสารอินทรีย์ประมาณ 0.1-0.3 กก. บีโอดี/กก. MLVSS, ค่าอายุตะกอน 20-40 วัน, ระยะเวลาในถังเติมอากาศ 20-30 ชั่วโมง และมีความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศประมาณ 2,000-5,000 มก. MLSS/ล. โดยกำหนดค่าที่ใช้ในการออกแบบ ดังนี้

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_m , วัน ⁻¹)	3.2
สัมประสิทธิ์การสลายตัวจำเพาะ (k_d , วัน ⁻¹)	0.025
ความเข้มข้นที่ครึ่งความเร็ว (k_s , มก/ล)	9.0
สัมประสิทธิ์ปริมาณผลิต (Y, มก. VSS/ มก.COD)	0.6
ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน (MLSS, มก/ล)	2,800

4.5.1 อัตราการย่อยสลายสารอาหารจำเพาะ (specific substrate utilization rate, U)

$$U = \frac{S_o - S}{\theta X}$$

S_o คือ ความเข้มข้นของสารอาหารเข้าสู่ระบบในรูปบีโอดี

S คือ ความเข้มข้นของสารอาหารออกจากระบบในรูปบีโอดี

θ คือ ระยะเวลาที่กักเก็บในถังเติมอากาศ

X คือ ของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในน้ำตะกอน (MLVSS)

$$U = \frac{450 \text{ มก. /ล.} - 20 \text{ มก. /ล.}}{2 \text{ วัน} \times 2,800 \text{ มก. /ล.} \times 0.8}$$

$$U = 0.096 \text{ วัน}^{-1}$$

4.5.2 อายุของตะกอนจุลชีพที่อยู่ในระบบบำบัด (sludge age, θ_c)

$$\begin{aligned} \frac{1}{\theta_c} &= YU - k_d \\ &= 0.6 \times 0.096 \text{ วัน}^{-1} - 0.025 \text{ วัน}^{-1} \\ &= 0.0326 \text{ วัน}^{-1} \\ \theta_c &= 30.7 \text{ วัน} \end{aligned}$$

4.5.3 ทำการตรวจสอบค่าอัตราส่วนปริมาณจุลชีพต่ออาหาร (F/M ratio) ทำการควบคุมระบบบำบัดโดยการควบคุมจากค่า F/M ให้ระบบมีความเข้มข้นของค่าของแ่งแขวนลอยระเหยง่าย (MLVSS) ประมาณ 0.8 ของตะกอนหรือของแ่งแขวนลอยในน้ำตะกอน (MLSS) กำหนดค่าประมาณ 2,240 มก. /ล.

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าอัตราส่วนปริมาณจุลชีพต่ออาหาร} \\
 F/M &= \frac{(So-S)(Q)}{(V)(X)} \\
 &= \frac{450-20 \text{ มก. /ล.} \times 60 \text{ ล./วัน}}{120 \text{ ล.} \times 2800 \text{ มก. /ล.} \times 0.8} \\
 &= 0.096 \text{ กก. บีโอดี/กก. MLVSS}
 \end{aligned}$$

จากผลการคำนวณระบบตะกอนเร่งที่ทำการออกแบบ พบว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้ อยู่ในช่วงของอัตราการบำบัดแบบยืดเวลา (extended rate) ตามที่กำหนดไว้

4.5.4 ทำการตรวจสอบค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อปริมาตร (volumetric loading rate, VLR)

$$\begin{aligned}
 \text{ที่อัตราการไหลเฉลี่ย} &= 60 \text{ ล./วัน} \\
 \text{ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อปริมาตร} \\
 VLR &= \frac{So \times Q \text{ (กก.บีโอดี/ลบ.ม.-วัน)}}{Vr} \\
 &= \frac{450 \text{ มก. /ล.} \times 60 \text{ ล./วัน}}{120 \text{ ล.} \times 1000 \text{ มก. /กก.}} \\
 &= 0.225 \text{ กก.บีโอดี/ลบ.ม.-วัน}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น ความสามารถของระบบตะกอนเร่งในการบำบัด (activated sludge capacity) มีขนาดถึงเต็มอากาศเท่ากับ 120 ล. = $Vr \times VLR$

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการบำบัดที่อัตราการไหลเฉลี่ย} &= \frac{120 \text{ ล.} \times 0.225 \text{ กก.บีโอดี/ลบ.ม.-วัน}}{1000 \text{ ล./ลบ.ม.}} \\
 &= 0.027 \text{ กก.บีโอดี/วัน}
 \end{aligned}$$

4.6 ความสามารถของตัวกลางชีวภาพในการบำบัดความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Fixed-film capacity)

การออกแบบใช้ตัวกลางพลาสติกที่มีพื้นที่ผิว (surface area) 102 ตร.ม. /ลบ.ม. ปริมาณ 42 ลิตร ดังนั้นพื้นที่ผิวของตัวกลางพลาสติกทั้งหมดเท่ากับ 4.28 ตร.ม. และอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลชีพ (biological reaction rate constant) มีความสัมพันธ์กับอัตราการ

ถ่ายเทออกซิเจนซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำเสีย ดังนั้น อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิต่างๆ
คำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 K_T &= K_{20} \theta^{T-20} \\
 \text{เมื่อ } K_T &= \text{ค่าคงที่ของอัตราการบำบัดที่อุณหภูมิใดๆ} \\
 \theta &= 1.02 \\
 K_{20} &= \text{อัตราการบำบัดค่าบีโอดี (removal rate constant)} \\
 &\quad \text{ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ 12.16 ก./ตร.ม.-วัน}
 \end{aligned}$$

จากอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของน้ำเสียในประเทศไทย เท่ากับ 28 องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned}
 K_{28} &= 12.16 \times (1.02)^{28-20} \\
 K_{28} &= 14.25 \text{ ก./ตร.ม.-วัน}
 \end{aligned}$$

ความสามารถในการกำจัดค่า BOD (fixed-film capacity)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{4.28 \text{ ตร.ม.} \times 14.25 \text{ ก./ตร.ม.-วัน}}{1,000 \text{ ก. /กก.}} \\
 &= 0.061 \text{ กก.บีโอดี/วัน}
 \end{aligned}$$

ความสามารถในการบำบัดค่าความสกปรกรวมทั้ง 2 ระบบ (total plant capacity)

$$\begin{aligned}
 &= \text{activated capacity} + \\
 &\quad \text{fixed-film capacity} \\
 &= 0.027 + 0.061 \text{ กก.บีโอดี/วัน} \\
 &= 0.088 \text{ กก.บีโอดี/วัน}
 \end{aligned}$$

ค่าภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ (BOD loading) ที่อัตราการไหลน้ำเสียเฉลี่ยเท่ากับ 0.042
กก.บีโอดี/วัน

$$\text{อัตราส่วนปลอดภัย (load ratio of safety)} = \frac{0.088}{0.027} = 3.26$$

4.7 คำนวณหาปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น } P_x &= \frac{XV}{\theta_c} \\
 &= \frac{2,800 \times 0.8 \text{ มก. /ล.} \times 120 \text{ ล.}}{30.7 \text{ วัน} \times 1000 \text{ มก./ก.}} \\
 &= 8.76 \text{ ก. MLVSS/วัน}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{กำหนดให้ค่า MLVSS/MLSS} &= 0.8 \\
 \text{ปริมาณน้ำตะกอนที่เกิดขึ้น} &= \frac{8.76}{0.8} \\
 &= 10.95 \text{ ก. MLSS/วัน}
 \end{aligned}$$

4.8 คำนวณหาปริมาณน้ำตะกอนที่ควรถ่ายทิ้งออกจากระบบ

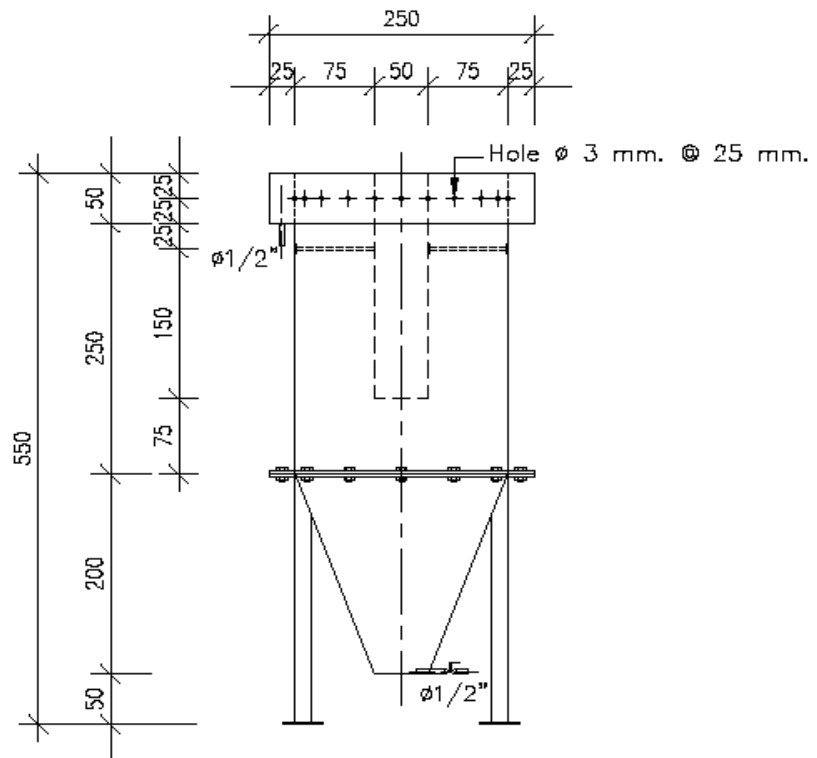
$$\begin{aligned}
 \text{กำหนดให้ค่า } X_R &= 2,800 \text{ มก. MLSS/ล.} \\
 Q_w &= \frac{10.95 \text{ (ก. MLSS/วัน)}}{2,800 \text{ (มก. MLSS/ล.)}} \\
 &= 0.0039 \text{ ลบ.ม./วัน} \\
 &= 3.9 \text{ ล./วัน}
 \end{aligned}$$

4.9 การควบคุมปริมาณตะกอนจุลชีพในระบบบำบัด (Control of MLSS)

น้ำในถังเติมอากาศจะมีการควบคุมปริมาณตะกอนจุลชีพภายในถัง โดยชุดสูบลมวนเวียนตะกอนในถังตกตะกอน

4.10 คำนวณหาขนาดของถังตกตะกอน

เนื่องจากของแข็งแขวนลอย (MLSS) จากถังเติมอากาศที่ระบายเข้าสู่ถังตกตะกอนมีความเข้มข้นมาก ดังนั้นการจมตัวของจุลชีพจึงมีลักษณะการจมตัวของตะกอนเกิดขึ้นหลายประเภทพร้อมๆ กัน เช่น การจมตัวแบบการสร้างฟล็อก (floculate settling), การจมตัวแบบเป็นชั้น (zone settling) และการจมตัวแบบอัดตัว (compression settling) การคำนวณขนาดของถังตกตะกอนจึงต้องคำนวณจากค่าอัตราการน้ำล้น (surface overflow rate) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้สำหรับการจมตัวแบบการสร้างฟล็อกและค่าอัตราการระของแข็ง ซึ่งเป็นค่าที่ใช้สำหรับการจมตัวแบบชั้น และการจมตัวแบบอัดตัว ค่าการออกแบบอัตราการน้ำล้นที่อัตราการไหลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 24-32 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน แสดงในรูปที่ ก.3



หมายเหตุ: หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ ก.3 ถังตกตะกอน (sedimentation tank)

4.10.1 คำนวณหาค่าภาระของแข็ง (SL)

ค่าภาระของแข็ง = QX

เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำเข้าต่อวัน , ลบ.ม./วัน

X = ค่าปริมาณสารแขวนลอย , มก./ล.

$$\begin{aligned} \text{ค่าภาระของแข็ง} &= \frac{60 \text{ ลิ./วัน} \times 2,800 \text{ มก./ลิ.}}{1,000 \text{ มก./ก.} \times 1,000 \text{ ก./กก.}} \\ &= 0.168 \quad \text{กก./วัน} \\ &= 0.007 \quad \text{กก./ชม.} \end{aligned}$$

4.10.2 คำนวณหาพื้นที่ผิวของถัง (A)

ให้ค่าอัตราภาระของแข็ง (SLR) = 1.0 (1-5 กก./ตร.ม.-ชม.)

$$A = \frac{0.007 \text{ กก./ชม.}}{1.0 \text{ กก./ตร.ม.-ชม.}}$$

A = 0.007 ตร.ม.

A = 70 ตร.ม.

$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่ผิวของถังตกตะกอน} &= \frac{3.14 \times D^2}{4} \\
 &= 70 \quad \text{ตร.ชม.} \\
 D &= 9.44 \quad \text{ชม.}
 \end{aligned}$$

4.10.3 คำนวณหาอัตราการน้ำล้นของถัง (over flow rate) เมื่อระบบรับ
อัตราการไหลเฉลี่ย

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการน้ำล้นของถังตกตะกอน} &= \frac{\text{อัตราการไหล}}{\text{พื้นที่ผิวถัง}} \\
 &= \frac{60 \text{ ล./วัน}}{0.007 \text{ ตร.ม.} \times 1000 \text{ ล./ลบ.ม.}} \\
 &= 8.57 \quad \text{ลบ.ม./ตร.ม.-วัน}
 \end{aligned}$$

4.11 ปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพต้องการ (Oxygen required)

การถ่ายเทออกซิเจนในน้ำมีความสำคัญต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ถ้าขาดออกซิเจนประสิทธิภาพการทำงานของระบบจะลดลง เพราะจุลชีพก่อความอเจริญเติบโตได้ดี และทำให้การเจริญเติบโตของจุลชีพในน้ำมีปริมาณลดลง ปกติระบบตะกอนเร่งทั่วไป ต้องการออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยทฤษฎี BOD: O₂ = 1:1

$$\begin{aligned}
 \text{กำหนดให้ อัตราส่วนปลอดภัย (SF)} &= 2.0 \\
 \text{ความเข้มข้นของสารอาหาร (S}_0\text{)} &= 450 \quad \text{ก./ลบ.ม.} \\
 \text{แฟกเตอร์ปรับค่าเมื่อมีบีโอดีต่ำ (k)} &= 1.1 - 1.2 \quad (\text{ใช้ } k = 1.2) \\
 \text{ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการ} &= QkS_0 \times SF \\
 &= \frac{60 \times 1.2 \times 450 \times 2.0}{1,000 \text{ ก./กก.} \times 1000 \text{ ล./ลบ.ม.}} \\
 &= 0.065 \quad \text{กก. O}_2\text{/วัน}
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข
ผลการทดลองที่ 1

ตารางที่ ข.1 พิเศษ

วันที่	น้ำเสียเข้าระบบ	สถานะในถังเติมอากาศ	
		ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล)
13 ธ.ค. 2551	6.7	7.7	7.9
14 ธ.ค. 2551	6.7	7.8	7.8
15 ธ.ค. 2551	6.7	7.9	8.0
16 ธ.ค. 2551	6.2	7.7	7.8
17 ธ.ค. 2551	6.2	7.6	7.7
18 ธ.ค. 2551	6.2	7.6	7.7
19 ธ.ค. 2551	7.3	7.9	7.9
20 ธ.ค. 2551	7.3	7.7	7.8
21 ธ.ค. 2551	7.0	7.9	7.8
22 ธ.ค. 2551	7.0	7.9	7.8
23 ธ.ค. 2551	7.0	7.7	7.7
24 ธ.ค. 2551	7.4	7.9	7.9
25 ธ.ค. 2551	7.4	7.8	7.7
26 ธ.ค. 2551	7.4	7.9	7.9
27 ธ.ค. 2551	7.4	7.8	7.9
28 ธ.ค. 2551	6.9	7.8	7.9
29 ธ.ค. 2551	6.9	7.9	7.9
14 ม.ค. 2552	6.9	7.9	7.9

ตารางที่ ข.1 พีเอช (ต่อ)

วันที่	น้ำเสียเข้าระบบ	สถานะในถังเติมอากาศ	
		ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล)
15 ม.ค. 2552	6.9	7.7	7.8
16 ม.ค. 2552	6.7	7.4	7.6
17 ม.ค. 2552	6.7	7.4	7.5
18 ม.ค. 2552	6.5	7.2	7.5
19 ม.ค. 2552	6.5	7.7	7.6
20 ม.ค. 2552	6.5	7.7	7.8
21 ม.ค. 2552	6.9	7.8	7.6
22 ม.ค. 2552	6.9	7.8	7.5
23 ม.ค. 2552	6.9	7.9	7.5
24 ม.ค. 2552	6.9	7.9	7.6
25 ม.ค. 2552	6.9	7.7	7.5
26 ม.ค. 2552	6.9	7.7	7.5
27 ม.ค. 2552	6.7	7.9	7.6
28 ม.ค. 2552	6.7	7.9	7.8
29 ม.ค. 2552	6.7	7.7	7.6
30 ม.ค. 2552	7.0	7.9	7.5
31 ม.ค. 2552	7.0	7.7	7.9
1 ก.พ. 2552	7.0	7.8	7.9
2 ก.พ. 2552	7.1	7.7	7.8
3 ก.พ. 2552	7.1	7.8	7.6
4 ก.พ. 2552	7.1	7.8	7.8
5 ก.พ. 2552	7.1	7.9	8.1

ตารางที่ ข.2 สารแขวนลอย (มก./ล.)

วันที่	น้ำเสียเข้าระบบ	สถานะในถังเติมอากาศ		น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว	
		ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล)	ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล)
13 ธ.ค. 2551	65.0	8,950.0	8,094.0	27.0	45.0
14 ธ.ค. 2551	65.0	-	-	34.0	80.0
15 ธ.ค. 2551	65.0	-	-	35.0	57.0
16 ธ.ค. 2551	168.0	-	-	30.0	116.0
17 ธ.ค. 2551	168.0	5,930.0	5,920.0	18.0	40.0
18 ธ.ค. 2551	168.0	-	-	31.0	33.0
19 ธ.ค. 2551	30.0	5,750.0	5,040.0	28.0	28.0
20 ธ.ค. 2551	30.0	-	-	24.0	28.0
21 ธ.ค. 2551	36.0	-	-	38.0	20.0
22 ธ.ค. 2551	36.0	-	-	53.0	12.0
23 ธ.ค. 2551	36.0	-	-	26.0	19.0
24 ธ.ค. 2551	21.0	6,610.0	9,646.0	20.0	12.0
25 ธ.ค. 2551	21.0	-	-	34.0	16.0
26 ธ.ค. 2551	21.0	-	-	17.0	9.0
27 ธ.ค. 2551	21.0	-	-	24.0	25.0
28 ธ.ค. 2551	36.0	7,330.0	6,990.0	49.0	27.0
29 ธ.ค. 2551	36.0	-	-	27.0	11.0
14 ม.ค. 2552	56.0	-	-	58.0	42.0
15 ม.ค. 2552	56.0	7,808.0	4,374.0	65.0	30.0
16 ม.ค. 2552	108.0	-	-	54.0	10.0
17 ม.ค. 2552	108.0	-	-	50.0	23.0
18 ม.ค. 2552	110.0	-	-	28.0	28.0
19 ม.ค. 2552	110.0	4,300.0	4,470.0	28.0	26.0

ตารางที่ ข.2 สารแขวนลอย (มก./ล.) (ต่อ)

วันที่	น้ำเสียเข้าระบบ	สถานะในถังเติมอากาศ		น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว	
		ชุดควบคุม (ไม่เติมผง ถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผง ถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล)	ชุดควบคุม (ไม่เติมผง ถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผง ถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล)
20 ม.ค. 2552	110.0	-	-	23.0	20.0
21 ม.ค. 2552	193.0	4,340.0	4,400.0	49.0	18.0
22 ม.ค. 2552	193.0	-	-	49.0	23.0
23 ม.ค. 2552	193.0	4,275.0	4,400.0	46.0	21.0
24 ม.ค. 2552	193.0	-	-	24.0	16.0
25 ม.ค. 2552	193.0	2,610.0	3,890.0	52.0	40.0
26 ม.ค. 2552	193.0	-	-	40.0	28.0
27 ม.ค. 2552	59.0	-	-	48.0	18.0
28 ม.ค. 2552	59.0	2,834.0	3,440.0	40.0	11.0
29 ม.ค. 2552	59.0	-	-	38.0	12.0
30 ม.ค. 2552	32.0	3,570.0	4,970.0	18.0	16.0
31 ม.ค. 2552	32.0	-	-	9.0	17.0
1 ก.พ. 2552	32.0	-	-	16.0	6.0
2 ก.พ. 2552	8.0	2,950.0	3,420.0	9.0	9.0
3 ก.พ. 2552	8.0	-	-	10.0	21.0
4 ก.พ. 2552	8.0	2,175.0	2,845.0	9.0	20.0
5 ก.พ. 2552	16.0	-	-	10.0	13.0

ตารางที่ ข.3 ซีโอดี (มก./ล.)

วันที่	น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว	
		ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล)
13 ธ.ค. 2551	1,056.0	182.0	142.0
14 ธ.ค. 2551	1,056.0	102.0	73.0
15 ธ.ค. 2551	1,056.0	95.0	66.0
16 ธ.ค. 2551	946.0	109.0	87.0
17 ธ.ค. 2551	946.0	146.0	102.0
18 ธ.ค. 2551	946.0	146.0	102.0
19 ธ.ค. 2551	931.0	163.0	116.0
20 ธ.ค. 2551	931.0	155.0	124.0
21 ธ.ค. 2551	993.0	186.0	147.0
22 ธ.ค. 2551	993.0	179.0	171.0
23 ธ.ค. 2551	993.0	171.0	147.0
24 ธ.ค. 2551	1,026.0	190.0	152.0
25 ธ.ค. 2551	1,026.0	182.0	160.0
26 ธ.ค. 2551	1,026.0	182.0	160.0
27 ธ.ค. 2551	1,026.0	167.0	167.0
28 ธ.ค. 2551	1,330.0	167.0	160.0
29 ธ.ค. 2551	1,330.0	152.0	152.0
14 ม.ค. 2552	1,383.0	371.0	291.0
15 ม.ค. 2552	1,383.0	510.0	306.0
16 ม.ค. 2552	1,077.0	364.0	262.0
17 ม.ค. 2552	1,077.0	291.0	204.0
18 ม.ค. 2552	863.0	246.0	179.0
19 ม.ค. 2552	863.0	223.0	179.0
20 ม.ค. 2552	863.0	238.0	179.0

ตารางที่ ข.3 ซีโอดี (มก./ล.) (ต่อ)

วันที่	น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว	
		ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล)
21 ม.ค. 2552	1,250.0	246.0	179.0
22 ม.ค. 2552	1,250.0	231.0	186.0
23 ม.ค. 2552	1,250.0	238.0	193.0
24 ม.ค. 2552	1,250.0	189.0	153.0
25 ม.ค. 2552	1,250.0	218.0	197.0
26 ม.ค. 2552	1,250.0	218.0	175.0
27 ม.ค. 2552	1,048.0	238.0	166.0
28 ม.ค. 2552	1,048.0	238.0	190.0
29 ม.ค. 2552	1,048.0	231.0	185.0
30 ม.ค. 2552	673.0	198.0	151.0
31 ม.ค. 2552	673.0	190.0	151.0
1 ก.พ. 2552	673.0	169.0	138.0
2 ก.พ. 2552	799.0	184.0	138.0
3 ก.พ. 2552	799.0	230.0	162.0
4 ก.พ. 2552	799.0	192.0	131.0
5 ก.พ. 2552	860.0	223.0	138.0

ตารางที่ ข.4 บีโอดี (มก./ล.)

วันที่	น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว	
		ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล)
13 ธ.ค. 2551	426.0	5.0	3.0
24 ธ.ค. 2551	402.0	3.0	3.4
15 ม.ค. 2552	420.0	7.0	5.0
28 ม.ค. 2552	410.0	5.0	3.0

ตารางที่ ข.5 ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)

วันที่	สถานะในถังเติมอากาศ	
	ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล)
13 ธ.ค. 2551	5.5	4.8
14 ธ.ค. 2551	5.1	4.8
15 ธ.ค. 2551	4.8	5.1
16 ธ.ค. 2551	5.0	5.0
17 ธ.ค. 2551	4.8	6.9
18 ธ.ค. 2551	6.4	7.0
19 ธ.ค. 2551	6.4	7.1
20 ธ.ค. 2551	6.4	7.1
21 ธ.ค. 2551	6.4	7.3
22 ธ.ค. 2551	6.8	7.2
23 ธ.ค. 2551	6.7	7.3
24 ธ.ค. 2551	6.8	7.3
25 ธ.ค. 2551	6.9	7.4
26 ธ.ค. 2551	7.0	7.3

ตารางที่ ข.5 ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.) (ต่อ)

วันที่	สภาวะในถังเติมอากาศ	
	ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล.)
27 ธ.ค. 2551	7.1	7.2
28 ธ.ค. 2551	7.0	7.3
29 ธ.ค. 2551	7.0	7.3
14 ม.ค. 2552	7.0	7.3
15 ม.ค. 2552	7.0	7.0
16 ม.ค. 2552	6.8	7.0
17 ม.ค. 2552	6.8	7.0
18 ม.ค. 2552	6.8	6.8
19 ม.ค. 2552	6.8	6.4
20 ม.ค. 2552	6.5	6.5
21 ม.ค. 2552	6.5	6.5
22 ม.ค. 2552	6.5	6.5
23 ม.ค. 2552	6.8	6.5
24 ม.ค. 2552	6.8	6.4
25 ม.ค. 2552	6.8	7.2
26 ม.ค. 2552	7.0	7.1
27 ม.ค. 2552	6.9	7.1
28 ม.ค. 2552	6.9	7.1
29 ม.ค. 2552	7.0	7.1
30 ม.ค. 2552	7.0	7.1
31 ม.ค. 2552	7.0	7.3
1 ก.พ. 2552	7.1	7.2
2 ก.พ. 2552	7.1	7.2
3 ก.พ. 2552	7.1	7.2
4 ก.พ. 2552	7.2	7.2

ตารางที่ ข.6 เอสวี-30 (มล./ล.)

วันที่	สภาวะในถังเติมอากาศ	
	ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล.)
5 ก.พ. 2552	7.2	7.2
13 ธ.ค. 2551	500.0	800.0
14 ธ.ค. 2551	720.0	690.0
15 ธ.ค. 2551	870.0	810.0
16 ธ.ค. 2551	800.0	820.0
17 ธ.ค. 2551	890.0	900.0
18 ธ.ค. 2551	840.0	850.0
19 ธ.ค. 2551	810.0	820.0
20 ธ.ค. 2551	580.0	810.0
21 ธ.ค. 2551	660.0	670.0
22 ธ.ค. 2551	830.0	820.0
23 ธ.ค. 2551	890.0	830.0
24 ธ.ค. 2551	720.0	680.0
25 ธ.ค. 2551	830.0	710.0
26 ธ.ค. 2551	780.0	740.0
27 ธ.ค. 2551	400.0	610.0
28 ธ.ค. 2551	440.0	360.0
29 ธ.ค. 2551	470.0	350.0
14 ม.ค. 2552	450.0	310.0
15 ม.ค. 2552	470.0	440.0
16 ม.ค. 2552	520.0	210.0
17 ม.ค. 2552	420.0	260.0
18 ม.ค. 2552	460.0	280.0
19 ม.ค. 2552	460.0	200.0
20 ม.ค. 2552	460.0	220.0

ตารางที่ ข.6 เอสวี-30 (มล./ล.) (ต่อ)

วันที่	สถานะในถังเดิมอากาศ	
	ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล)
21 ม.ค. 2552	540.0	200.0
22 ม.ค. 2552	550.0	200.0
23 ม.ค. 2552	440.0	250.0
24 ม.ค. 2552	470.0	280.0
25 ม.ค. 2552	440.0	270.0
26 ม.ค. 2552	400.0	210.0
27 ม.ค. 2552	400.0	200.0
28 ม.ค. 2552	500.0	270.0
29 ม.ค. 2552	600.0	290.0
30 ม.ค. 2552	670.0	230.0
31 ม.ค. 2552	550.0	310.0
1 ก.พ. 2552	500.0	300.0
2 ก.พ. 2552	570.0	320.0
3 ก.พ. 2552	670.0	260.0
4 ก.พ. 2552	510.0	280.0
5 ก.พ. 2552	650.0	250.0

ตารางที่ ค.1 พิเศษ

วันที่	น้ำเสียเข้าระบบ	สถานะในถังเติมอากาศ		
		ชุดควบคุม (ไม่เติมผง ถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ เริ่มต้น 4,000 มก./ล และ เพิ่มอีกวันละ 50 มก./ล)	
			ความเข้มข้นของผง ถ่านกัมมันต์ (มก./ล)	พีเอชในถังเติมอากาศ
19 ก.พ. 2552	7.0	7.5	4,000	8.1
20 ก.พ. 2552	7.0	7.8	4,050	8.2
21 ก.พ. 2552	7.2	7.8	4,100	8.0
22 ก.พ. 2552	7.2	8.0	4,150	8.2
23 ก.พ. 2552	7.1	7.9	4,200	8.1
24 ก.พ. 2552	7.1	7.9	4,250	8.1
25 ก.พ. 2552	7.3	7.8	4,300	8.1
26 ก.พ. 2552	7.3	7.7	4,350	8.0
27 ก.พ. 2552	7.3	7.8	4,400	7.9
28 ก.พ. 2552	7.3	7.8	4,450	8.1
1 มี.ค. 2552	7.5	8.1	4,500	8.2
2 มี.ค. 2552	7.5	8.0	4,550	8.0
3 มี.ค. 2552	7.4	8.0	4,600	8.2
4 มี.ค. 2552	7.4	7.8	4,650	8.0
5 มี.ค. 2552	7.4	7.8	4,700	8.0

ตารางที่ ค.1 พีเอช (ต่อ)

วันที่	น้ำเสียเข้า ระบบ	สภาวะในถังเติมอากาศ		
		ชุดควบคุม (ไม่เติมผง ถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ เริ่มต้น 4,000 มก./ล และ เพิ่มอีกวันละ 50 มก./ล)	
			ความเข้มข้นของผง ถ่านกัมมันต์ (มก./ล)	พีเอชในถังเติมอากาศ
6 มี.ค. 2552	7.4	8.0	4,750	8.1
7 มี.ค. 2552	7.7	8.0	4,800	8.1
8 มี.ค. 2552	7.7	8.1	4,850	8.2
9 มี.ค. 2552	7.7	8.2	4,900	8.2
10 มี.ค. 2552	7.5	7.9	4,950	8.1
11 มี.ค. 2552	7.5	7.7	5,000	8.0
12 มี.ค. 2552	7.5	7.9	5,050	8.1
13 มี.ค. 2552	7.2	7.8	5,100	8.0
14 มี.ค. 2552	7.2	8.0	5,150	8.1
15 มี.ค. 2552	7.2	8.0	5,200	7.9
16 มี.ค. 2552	7.2	8.1	5,250	8.0
17 มี.ค. 2552	7.0	8.1	5,300	7.9
18 มี.ค. 2552	7.0	8.1	5,350	8.0
19 มี.ค. 2552	7.0	8.1	5,400	7.9
20 มี.ค. 2552	7.3	8.0	5,450	7.9
21 มี.ค. 2552	7.3	8.1	5,500	8.0

ตารางที่ ค.2 สารแขวนลอย (มก./ล.)

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ	ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่าน กัมมันต์)		ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ เริ่มต้น 4,000 มก./ล และเพิ่มอีกวันละ 50 มก./ล)		
		สถานะใน ถังเติม อากาศ	น้ำทิ้งที่ ผ่านการ บำบัดแล้ว	ความเข้มข้น ของผงถ่านกัม มันต์ (มก./ล)	สถานะใน ถังเติม อากาศ	น้ำทิ้งที่ผ่าน การบำบัด แล้ว
19 ก.พ. 2552	18.0	2,835.0	12.0	4,000	3,085.0	24.0
20 ก.พ. 2552	18.0		42.0	4,050		19.0
21 ก.พ. 2552	6.0		12.0	4,100		13.0
22 ก.พ. 2552	6.0		14.0	4,150		7.0
23 ก.พ. 2552	50.0		55.0	4,200		12.0
24 ก.พ. 2552	50.0	3,045.0	112.0	4,250	3,585.0	10.0
25 ก.พ. 2552	38.0		130.0	4,300		11.0
26 ก.พ. 2552	38.0		100.0	4,350		10.0
27 ก.พ. 2552	240.0	3,304.0	92.0	4,400	3,424.0	15.0
28 ก.พ. 2552	240.0		148.0	4,450		7.0
1 มี.ค. 2552	7.0		106.0	4,500		13.0
2 มี.ค. 2552	7.0		86.0	4,550		14.0
3 มี.ค. 2552	14.0		80.0	4,600		16.0
4 มี.ค. 2552	14.0		54.0	4,650		13.0
5 มี.ค. 2552	14.0	2,775.0	54.0	4,700	3,065.0	13.0
6 มี.ค. 2552	14.0		36.0	4,750		12.0
7 มี.ค. 2552	5.0		43.0	4,800		8.0
8 มี.ค. 2552	5.0		54.0	4,850		9.0
9 มี.ค. 2552	5.0	3,172.0	62.0	4,900	3,152.0	10.0
10 มี.ค. 2552	13.0		70.0	4,950		13.0
11 มี.ค. 2552	13.0		82.0	5,000		13.0

ตารางที่ ค.2 สารแขวนลอย (มก./ล.) (ต่อ)

วันที่	น้ำเสีย เข้า ระบบ	ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่าน กัมมันต์)		ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ เริ่มต้น 4,000 มก./ล และเพิ่มอีกวันละ 50 มก./ล)		
		สถานะใน ถังเติม อากาศ	น้ำทิ้งที่ ผ่านการ บำบัดแล้ว	ความเข้มข้น ของผงถ่านกัม มันต์ (มก./ล)	สถานะใน ถังเติม อากาศ	น้ำทิ้งที่ผ่าน การบำบัด แล้ว
12 มี.ค. 2552	13.0	2,800.0	38.0	5,050	2,605.0	12.0
13 มี.ค. 2552	18.0		54.0	5,100		16.0
14 มี.ค. 2552	18.0	2,865.0	106.0	5,150	2,670.0	29.0
15 มี.ค. 2552	20.0		20.0	5,200		16.0
16 มี.ค. 2552	20.0	2,485.0	22.0	5,250	3,150.0	20.0
17 มี.ค. 2552	28.0		25.0	5,300		19.0
18 มี.ค. 2552	28.0	2,390.0	32.0	5,350	3,335.0	18.0
19 มี.ค. 2552	28.0		22.0	5,400		20.0
20 มี.ค. 2552	76.0		33.0	5,450		42.0
21 มี.ค. 2552	76.0	2,928.0	36.0	5,500	3,730.0	28.0

ตารางที่ ก.3 ซีโอดี (มก./ล.)

วันที่	น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว		
		ชุดควบคุม (ไม่เติมผง ถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ เริ่มต้น 4,000 มก./ล และเพิ่มอีกวันละ 50 มก./ล)	
			ความเข้มข้นของผง ถ่านกัมมันต์ (มก./ล)	ซีโอดีของน้ำทิ้งที่ ผ่านการบำบัดแล้ว
19 ก.พ. 2552	891.0	230.0	4,000	215.0
20 ก.พ. 2552	891.0	259.0	4,050	187.0
21 ก.พ. 2552	950.0	216.0	4,100	173.0
22 ก.พ. 2552	950.0	209.0	4,150	180.0
23 ก.พ. 2552	922.0	266.0	4,200	173.0
24 ก.พ. 2552	922.0	338.0	4,250	191.0
25 ก.พ. 2552	1,123.0	346.0	4,300	173.0
26 ก.พ. 2552	1,123.0	346.0	4,350	195.0
27 ก.พ. 2552	1,325.0	338.0	4,400	216.0
28 ก.พ. 2552	1,325.0	390.0	4,450	188.0
1 มี.ค. 2552	807.0	306.0	4,500	174.0
2 มี.ค. 2552	807.0	266.0	4,550	160.0
3 มี.ค. 2552	1,002.0	265.0	4,600	181.0
4 มี.ค. 2552	1,002.0	230.0	4,650	157.0
5 มี.ค. 2552	1,002.0	230.0	4,700	157.0
6 มี.ค. 2552	1,002.0	244.0	4,750	171.0
7 มี.ค. 2552	783.0	262.0	4,800	155.0
8 มี.ค. 2552	783.0	302.0	4,850	139.0
9 มี.ค. 2552	783.0	335.0	4,900	155.0
10 มี.ค. 2552	816.0	286.0	4,950	159.0
11 มี.ค. 2552	816.0	326.0	5,000	171.0

ตารางที่ ก.3 ซีโอดี (มก./ล.) (ต่อ)

วันที่	น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว		
		ชุดควบคุม (ไม่เติมผง ถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ เริ่มต้น 4,000 มก./ล และเพิ่มอีกวันละ 50 มก./ล)	
			ความเข้มข้นของผง ถ่านกัมมันต์ (มก./ล)	ซีโอดีของน้ำทิ้งที่ ผ่านการบำบัดแล้ว
12 มี.ค. 2552	816.0	229.0	5,050	184.0
13 มี.ค. 2552	979.0	220.0	5,100	163.0
14 มี.ค. 2552	979.0	294.0	5,150	184.0
15 มี.ค. 2552	982.0	151.0	5,200	135.0
16 มี.ค. 2552	982.0	155.0	5,250	140.0
17 มี.ค. 2552	887.0	154.0	5,300	135.0
18 มี.ค. 2552	887.0	159.0	5,350	135.0
19 มี.ค. 2552	887.0	159.0	5,400	158.0
20 มี.ค. 2552	891.0	174.0	5,450	152.0
21 มี.ค. 2552	891.0	177.0	5,500	146.0

ตารางที่ ก.4 บีโอดี (มก./ล.)

วันที่	น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว		
		ชุดควบคุม (ไม่เติมผง ถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ เริ่มต้น 4,000 มก./ล และเพิ่มอีกวันละ 50 มก./ล)	
			ความเข้มข้นของผง ถ่านกัมมันต์ (มก./ล)	บีโอดีของน้ำทิ้งที่ ผ่านการบำบัดแล้ว
1 มี.ค. 2552	660	26.7	4,500	15.0
11 มี.ค. 2552	450	12.5	5,000	5.3
21 มี.ค. 2552	548	6.6	5,500	7.8

ตารางที่ ค.5 ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)

วันที่	สภาวะในถังเดิมอากาศ		
	ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ เริ่มต้น 4,000 มก./ล และเพิ่มอีก วันละ 50 มก./ล)	
		ความเข้มข้นของผง ถ่านกัมมันต์ (มก./ล)	ออกซิเจนละลายน้ำใน ถังเดิมอากาศ
19 ก.พ. 2552	5.5	4,000	4.8
20 ก.พ. 2552	5.1	4,050	4.8
21 ก.พ. 2552	4.8	4,100	5.1
22 ก.พ. 2552	5.0	4,150	5.0
23 ก.พ. 2552	4.8	4,200	6.9
24 ก.พ. 2552	6.4	4,250	7.0
25 ก.พ. 2552	6.4	4,300	7.1
26 ก.พ. 2552	6.4	4,350	7.1
27 ก.พ. 2552	6.4	4,400	7.3
28 ก.พ. 2552	6.8	4,450	7.2
1 มี.ค. 2552	6.7	4,500	7.3
2 มี.ค. 2552	6.8	4,550	7.3
3 มี.ค. 2552	6.9	4,600	7.4
4 มี.ค. 2552	7.0	4,650	7.3
5 มี.ค. 2552	7.1	4,700	7.2
6 มี.ค. 2552	7.0	4,750	7.3
7 มี.ค. 2552	7.0	4,800	7.3
8 มี.ค. 2552	7.0	4,850	7.3
9 มี.ค. 2552	7.0	4,900	7.0
10 มี.ค. 2552	6.8	4,950	7.0
11 มี.ค. 2552	6.8	5,000	7.0

ตารางที่ ค.5 ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.) (ต่อ)

วันที่	สภาวะในถังเติมอากาศ		
	ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ เริ่มต้น 4,000 มก./ล และเพิ่ม อีกวันละ 50 มก./ล)	
		ความเข้มข้นของผง ถ่านกัมมันต์ (มก./ล)	ออกซิเจนละลายน้ำใน ถังเติมอากาศ
12 มี.ค. 2552	6.8	5,050	6.8
13 มี.ค. 2552	6.8	5,100	6.4
14 มี.ค. 2552	6.5	5,150	6.5
15 มี.ค. 2552	6.5	5,200	6.5
16 มี.ค. 2552	6.5	5,250	6.5
17 มี.ค. 2552	6.8	5,300	6.5
18 มี.ค. 2552	6.8	5,350	6.4
19 มี.ค. 2552	6.8	5,400	7.2
20 มี.ค. 2552	7.0	5,450	7.1
21 มี.ค. 2552	6.9	5,500	7.1

ตารางที่ ค.6 เอสวี-30 (มก./ล.)

วันที่	สภาวะในถังเติมอากาศ		
	ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ เริ่มต้น 4,000 มก./ล และเพิ่มอีก วันละ 50 มก./ล)	
		ความเข้มข้นของผง ถ่านกัมมันต์ (มก./ล)	เอสวี-30ในถังเติมอากาศ
19 ก.พ. 2552	500.0	4,000	350.0
20 ก.พ. 2552	550.0	4,050	330.0
21 ก.พ. 2552	540.0	4,100	340.0
22 ก.พ. 2552	550.0	4,150	310.0
23 ก.พ. 2552	420.0	4,200	240.0
24 ก.พ. 2552	460.0	4,250	250.0
25 ก.พ. 2552	470.0	4,300	270.0
26 ก.พ. 2552	520.0	4,350	290.0
27 ก.พ. 2552	440.0	4,400	230.0
28 ก.พ. 2552	470.0	4,450	310.0
1 มี.ค. 2552	440.0	4,500	300.0
2 มี.ค. 2552	400.0	4,550	320.0
3 มี.ค. 2552	460.0	4,600	260.0
4 มี.ค. 2552	540.0	4,650	280.0
5 มี.ค. 2552	400.0	4,700	250.0
6 มี.ค. 2552	440.0	4,750	270.0
7 มี.ค. 2552	470.0	4,800	290.0
8 มี.ค. 2552	450.0	4,850	320.0
9 มี.ค. 2552	470.0	4,900	330.0
10 มี.ค. 2552	520.0	4,950	310.0
11 มี.ค. 2552	420.0	5,000	250.0

ตารางที่ ค.6 เอสวี-30 (มล./ล.) (ต่อ)

วันที่	สภาวะในถังเติมอากาศ		
	ชุดควบคุม (ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์)	ชุดทดลอง (เติมผงถ่านกัมมันต์ เริ่มต้น 4,000 มก./ล และเพิ่ม อีกวันละ 50 มก./ล)	
		ความเข้มข้นของผง ถ่านกัมมันต์ (มก./ล)	เอสวี-30ในถังเติมอากาศ
12 มี.ค. 2552	460.0	5,050	290.0
13 มี.ค. 2552	460.0	5,100	310.0
14 มี.ค. 2552	460.0	5,150	320.0
15 มี.ค. 2552	540.0	5,200	280.0
16 มี.ค. 2552	550.0	5,250	270.0
17 มี.ค. 2552	440.0	5,300	250.0
18 มี.ค. 2552	470.0	5,350	280.0
19 มี.ค. 2552	440.0	5,400	270.0
20 มี.ค. 2552	400.0	5,450	320.0
21 มี.ค. 2552	400.0	5,500	250.0

ภาคผนวก ง
ตัวอย่างรายการคำนวณ

1 ตัวอย่างรายการคำนวณจากตารางที่ 4.6

ชุดการทดลอง		ค่าซีโอดี ของน้ำเสีย เข้าระบบ (มก./ล.)	ค่าซีโอดีของ น้ำทิ้งที่ผ่าน การบำบัดแล้ว (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ซีโอดี (%)	ประสิทธิภาพ การบำบัดซีโอดี ที่เพิ่มขึ้น (%)
ชุดที่ 1	ไม่เติมผงถ่าน กัมมันต์	979.3 ± 217.3	221.6 ± 28.1	76.6 ± 4.4	-
ชุดที่ 2	เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล.	979.3 ± 217.3	168.3 ± 22.0	82.3 ± 3.0	5.7 ± 2.1

คำนวณจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ 1 ที่ระบบเข้าสู่ภาวะคงที่ (steady state) แล้ว
ดังนี้

วันที่	ค่าซีโอดี ของน้ำเสีย เข้าระบบ (มก./ล.)	ค่าซีโอดีของ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด แล้ว(มก./ล.)		ประสิทธิภาพ การบำบัดซีโอดี (%)		ประสิทธิภาพ การบำบัดซีโอดี ที่เพิ่มขึ้น (%)
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	
17 ม.ค.52	1077.0	291.0	204.0	73.0	81.1	8.1
18 ม.ค.52	863.0	246.0	179.0	71.5	79.3	7.8
19 ม.ค.52	863.0	223.0	179.0	74.2	79.3	5.1
20 ม.ค.52	863.0	238.0	179.0	72.4	79.3	6.9
21 ม.ค.52	1250.0	246.0	171.0	80.3	86.3	6.0
22 ม.ค.52	1250.0	231.0	186.0	81.5	85.1	3.6
23 ม.ค.52	1250.0	238.0	193.0	81.0	84.6	3.6
24 ม.ค.52	1250.0	189.0	153.0	84.9	87.8	2.9

วันที่	ค่าซีไอดี ของน้ำเสีย เข้าระบบ (มก./ล.)	ค่าซีไอดีของ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด แล้ว(มก./ล.)		ประสิทธิภาพ การบำบัดซีไอดี (%)		ประสิทธิภาพ การบำบัดซีไอดี ที่เพิ่มขึ้น (%)
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	
25 ม.ค.52	1250.0	218.0	197.0	82.6	84.2	1.6
26 ม.ค.52	1250.0	218.0	175.0	82.6	86.0	3.4
27 ม.ค.52	1048.0	238.0	166.0	77.3	84.2	6.9
28 ม.ค.52	1048.0	238.0	190.0	77.3	81.9	4.6
29 ม.ค.52	1048.0	231.0	185.0	78.0	82.3	4.3
30 ม.ค.52	673.0	198.0	151.0	70.6	77.6	7.0
31 ม.ค.52	673.0	190.0	151.0	71.8	77.6	5.8
1 ก.พ.52	673.0	169.0	138.0	74.9	79.5	4.6
2 ก.พ.52	799.0	184.0	138.0	77.0	82.7	5.7
3 ก.พ.52	799.0	230.0	162.0	71.2	79.7	8.5
4 ก.พ.52	799.0	192.0	131.0	76.0	83.6	7.6
5 ก.พ.52	860.0	223.0	138.0	74.1	84.0	9.9
Average	979.3	221.6	204.0	76.6	82.3	5.7
SD	217.3	28.1	22.0	4.4	3.0	2.1

ยกตัวอย่างการคำนวณของวันที่ 17 ม.ค.52

- ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีของชุดควบคุม (%)

$$= \frac{(\text{ซีไอดีน้ำเสียเข้าระบบ} - \text{ซีไอดีน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากชุดควบคุม})}{\text{ซีไอดีน้ำเสียเข้าระบบ}}$$

$$= (1077.0 - 291.0)/1077.0 = 73.0 \%$$

- ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีของชุดทดลอง (%)

$$= \frac{(\text{ซีไอดีน้ำเสียเข้าระบบ} - \text{ซีไอดีน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากชุดทดลอง})}{\text{ซีไอดีน้ำเสียเข้าระบบ}}$$

$$= (1077.0 - 204.0)/1077.0 = 81.1 \%$$

- ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีที่เพิ่มขึ้น (%)

$$= \text{ประสิทธิภาพของชุดทดลอง} - \text{ประสิทธิภาพชุดควบคุม}$$

$$= (81.1 - 73.0) \% = 8.1 \%$$

2 ตัวอย่างรายการคำนวณจากตารางที่ 4.7

ชุดการทดลอง			ค่าซีโอดี ของน้ำ เสียเข้า ระบบ (มก./ล.)	ค่าซีโอดี ของน้ำทิ้ง ที่ผ่านการ บำบัดแล้ว (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ซีโอดี (%)	ประสิทธิภาพ การบำบัด ซีโอดีที่ เพิ่มขึ้น (%)
ชุดที่ 1	ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์		942.1 ± 136.6	253.6 ± 67.6	72.8 ± 7.5	-
ชุดที่ 2	เติมผงถ่าน กัมมันต์ เริ่มต้น 4,000 มก./ล. และ เพิ่มวันละ 50 มก./ล.	4,000 มก./ล.	891.0	215.0	75.9	3.1
		4,500 มก./ล.	807.0	174.0	78.4	5.6
		5,000 มก./ล.	816.0	171.0	79.0	6.2
		5,500 มก./ล.	891.0	146.0	83.6	10.8

คำนวณจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ 2 ดังนี้

ปริมาณผง ถ่าน กัมมันต์ (มก./ล.)	ค่าซีโอดี ของน้ำเสีย เข้าระบบ (มก./ล.)	ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งที่ผ่าน การบำบัดแล้ว (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการบำบัด ซีโอดี (%)		ประสิทธิภาพ การบำบัด ซีโอดีที่ เพิ่มขึ้น(%)
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	
4000	891.0	230.0	215.0	74.2	75.9	1.7
4050	891.0	259.0	187.0	70.9	79.0	8.1
4100	950.0	216.0	173.0	77.3	81.8	4.5
4150	950.0	209.0	180.0	78.0	81.1	3.1
4200	922.0	266.0	173.0	71.1	81.2	10.1
4250	922.0	338.0	191.0	63.3	79.3	16.0
4300	1123.0	346.0	173.0	69.2	84.6	15.4
4350	1123.0	346.0	195.0	69.2	82.6	13.4
4400	1325.0	338.0	216.0	74.5	83.7	9.2
4450	1325.0	390.0	188.0	70.6	85.8	15.2

ปริมาณผง ถ่าน กัมมันต์ (มก./ล.)	ค่าซีไอดี ของน้ำเสีย เข้าระบบ (มก./ล.)	ค่าซีไอดีของน้ำทิ้งที่ผ่าน การบำบัดแล้ว(มก./ล.)		ประสิทธิภาพการบำบัด ซีไอดี(%)		ประสิทธิภาพ การบำบัดซี ไอดีที่เพิ่มขึ้น (%)
		หูดควบคุม	หูดทดลอง	หูดควบคุม	หูดทดลอง	
4500	807.0	306.0	174.0	62.1	78.4	16.3
4550	807.0	266.0	160.0	67.0	80.2	13.2
4600	1002.0	265.0	181.0	73.6	81.9	8.3
4650	1002.0	230.0	157.0	77.0	84.3	7.3
4700	1002.0	230.0	157.0	77.0	84.3	7.3
4750	1002.0	244.0	171.0	75.6	82.9	7.3
4800	783.0	262.0	155.0	66.5	80.2	13.7
4850	783.0	302.0	139.0	61.4	82.2	20.8
4900	783.0	335.0	155.0	57.2	80.2	23.0
4950	816.0	286.0	159.0	65.0	80.5	15.5
5000	816.0	326.0	171.0	60.0	79.0	19.0
5050	816.0	229.0	184.0	71.9	77.5	5.6
5100	979.0	220.0	163.0	77.5	83.4	5.9
5150	979.0	294.0	184.0	70.0	81.2	11.2
5200	982.0	151.0	135.0	84.6	86.3	1.7
5250	982.0	155.0	140.0	84.2	85.7	1.5
5300	887.0	154.0	135.0	82.6	84.8	2.2
5350	887.0	159.0	135.0	82.1	84.8	2.7
5400	887.0	159.0	158.0	82.1	82.2	0.1
5450	891.0	174.0	152.0	80.5	82.9	2.4
5500	891.0	177.0	146.0	80.1	83.6	3.5
Average	942.1	253.6	-	72.8	-	-
SD	136.6	67.6	-	7.5	-	-

ยกตัวอย่างการคำนวณที่ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์เท่ากับ 4000 มก./ล.

- ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีของหูดควบคุม (%)

$$= \frac{(\text{ชีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ} - \text{ชีโอดีน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากชุดควบคุม})}{\text{ชีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ}}$$

$$= (891.0 - 230.0)/891.0 = 74.2 \%$$

- ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของชุดทดลอง (%)

$$= \frac{(\text{ชีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ} - \text{ชีโอดีน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากชุดทดลอง})}{\text{ชีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ}}$$

$$= (891.0 - 215.0)/891.0 = 75.9 \%$$

- ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีที่เพิ่มขึ้น (%)

$$= \text{ประสิทธิภาพของชุดทดลอง} - \text{ประสิทธิภาพของชุดควบคุม}$$

$$= (75.9 - 74.2) \% = 1.7 \%$$

3 ตัวอย่างรายการคำนวณจากตารางที่ 4.8

การทดลอง			ค่าซีโอดี ของน้ำ ทิ้งที่ผ่าน การบำบัด แล้ว (มก./ล.)	ค่าซีโอดี ของน้ำทิ้งที่ ผ่านการ บำบัดแล้ว ที่ยังเกิน มาตรฐาน (มก./ล.)	ผงถ่าน กัมมันต์ที่ ต้องใส่ เพิ่มในการ ดูดซับ ธรรมดา (มก./ล.)	ค่าใช้จ่าย โดยคิด ราคาของผง ถ่านกัมมันต์ 60 บาท/กก. (บาท/ลบม.)	ประหยัด ค่าใช้จ่าย (บาท/ ลบม.)
การ ทดลอง ครั้งที่ 1	ไม่เติมผงถ่าน กัมมันต์		221.6	101.6	5,644	339	178
	เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล.		168.3	48.3	2,683	161	
การ ทดลอง ครั้งที่ 2	ไม่เติมผงถ่าน กัมมันต์		253.6	133.6	7,422	450	-
	เติมผงถ่าน กัมมันต์ (มก./ล.)	4,000	215.0	95.0	3,555	210	240
		4,500	174.0	54.0	3,000	180	270
		5,000	171.0	51.0	2,833	170	280
		5,500	146.0	26.0	1,444	87	360

ยกตัวอย่างการคำนวณการทดลองครั้งที่ 1

- ค่าซีไอดีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ยังเกินมาตรฐาน (120 มก./ล.) ของชุดควบคุมที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์

$$= \text{ค่าซีไอดีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว} - 120.0 \text{ มก./ล.}$$

$$= 221.6 - 120.0 \quad \text{มก./ล.}$$

$$= 101.6 \quad \text{มก./ล.}$$

- ผงถ่านกัมมันต์ที่ต้องใช้เพิ่มในการดูดซับธรรมดาต่อการบำบัดทางชีวภาพของชุดควบคุมที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์

$$= (\text{ปริมาณซีไอดีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วที่ถูกดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ 1 กรัม}) / (\text{ค่าซีไอดีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ยังเกินมาตรฐาน 120 มก./ล.})$$

$$= 101.6 \times 1000 / 18.0 \quad (\text{มก./ล.})$$

$$= 5644 \quad \text{มก./ล.}$$

- ค่าใช้จ่ายโดยคิดราคาของผงถ่านกัมมันต์ 60 บาท/กก.(บาท/ลบม.) ของชุดควบคุมที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์

$$= \text{ผงถ่านกัมมันต์ที่ต้องใช้เพิ่มในการดูดซับธรรมดาต่อการบำบัดทางชีวภาพ} \times (60/1000)$$

$$= 5644 \times 60 / 1000 \quad (\text{บาท/ลบม.})$$

$$= 339 \quad (\text{บาท/ลบม.})$$

- ค่าซีไอดีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ยังเกินมาตรฐาน (120 มก./ล.) ของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล.

$$= \text{ค่าซีไอดีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว} - 120.0 \text{ มก./ล.}$$

$$= 168.3 - 120.0 \quad \text{มก./ล.}$$

$$= 48.3 \quad \text{มก./ล.}$$

- ผงถ่านกัมมันต์ที่ต้องใช้เพิ่มในการดูดซับธรรมดาต่อการบำบัดทางชีวภาพของชุดทดลองที่เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล.

$$= (\text{ปริมาณซีไอดีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วที่ถูกดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ 1 กรัม}) / (\text{ค่าซีไอดีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ยังเกินมาตรฐาน 120 มก./ล.})$$

$$= 48.3 \times 1000 / 18.0 \quad (\text{มก./ล.})$$

$$= 2683 \quad \text{มก./ล.}$$

- ค่าใช้จ่ายโดยคิดราคาของผงถ่านกัมมันต์ 60 บาท/กก.(บาท/ลบม.) ของชุดทดลองที่
เติมผงถ่านกัมมันต์ 4,000 มก./ล.

= ผงถ่านกัมมันต์ที่ต้องใช้เพิ่มในการดูดซับธรรมดาต่อการบำบัดทาง
ชีวภาพ x (60/1000)

$$= 2683 \times 60/1000 \quad (\text{บาท/ลบม.})$$

$$= 161 \quad (\text{บาท/ลบม.})$$

- ประหยัดค่าใช้จ่าย

= ค่าใช้จ่ายของชุดที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ - ค่าใช้จ่ายของชุดที่เติมผงถ่านกัม
มันต์ 4,000 มก./ล.

$$= 339 - 161 \quad (\text{บาท/ลบม.})$$

$$= 178 \quad (\text{บาท/ลบม.})$$

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล

นายครรชิต ชูดีไพศาล

วัน เดือน ปีเกิด

2 มีนาคม พ.ศ. 2513

วุฒิการศึกษา

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, พ.ศ. 2532-2537

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม)

มหาวิทยาลัยมหิดล, พ.ศ. 2549-2554

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการ
บริหารสิ่งแวดล้อม)

ที่อยู่ปัจจุบัน

37/924 หมู่ที่ 5 แขวงสีกัน เขตดอนเมือง

กรุงเทพมหานคร 10210

โทรศัพท์ 08-1841-7913

E-mail : kanchit_esq@yahoo.com

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบันและสถานที่ทำงาน

กรรมการบริหารและผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม 1

บริษัท อี-สแควร์ สิ่งแวดล้อมและวิศวกรรม จำกัด

288, 290 ซอยลาดพร้าว 132 ถนนลาดพร้าว

แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร

10240

โทรศัพท์ 0-2734-2301-3

แฟกซ์ 0-2734-2304