บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสีสังเคราะห์จากโรงงานฟอกย้อมโดยใช้ระบบเยื่อกรองชีวภาพร่วมกับถ่านกัมมันต์ โดยได้ทำการทดลองทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง สามารถสรุปผลและอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MBR

จากผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 1 (แผนภูมิที่ 64) ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่ไม่มีการเติม PAC, เติม PAC 1,000 mg/L และ เติม PAC 2,000 mg/L สามารถสรุปลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพของระบบบำบัดได้ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 พบว่า สัดส่วนของ MLVSS/MLSS ในระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.66 - 0.75 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัด พบว่าในช่วง 15 วันแรก น้ำทิ้งมี COD ความแปรปรวนเล็กน้อย และเริ่มคงที่หลังจากวันที่ 20 ของการทดลอง โดยมี COD เฉลี่ย 25.51 (±10.99) mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย 87.42 (±9.14)% ส่วน BOD มีค่าเฉลี่ย 1.98 (±1.69) mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย 98.94 (±1.28)% ซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง สำหรับความเข้มสีของน้ำทิ้ง พบว่า ในช่วง 26 วันแรก ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มสีต่ำมาก หลังจากนั้นประสิทธิภาพค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ภายหลังจาก 29 วัน ความเข้มข้นสีมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยน้ำทิ้งมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยเท่ากับ 0.23 (±0.04) Abs คิดเป็นประสิทธิภาพ ณ สภาวะคงตัวเฉลี่ยเท่ากับ 47.61 (±8.40)% นอกจากนี้น้ำทิ้งมี TDS เฉลี่ยเท่ากับ 2,405.67 (±150.07) mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ 3.54 (±3.73)%

สรุปได้ว่าระบบ MBR มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้ดีในช่วงที่ระบบคงตัวแล้วซึ่งค่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม แสดงดังตารางที่ 10 เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ สร้อยดาว วินิจนันทรัตน์ (2551) พบว่าระบบบำบัดทางชีวภาพสามารถลดความเข้มสีได้ในระยะยาวจากการดูดซับและย่อยสลายของจุลินทรีย์ และงานวิจัยของ Pala และ Tokat (2002) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยกระบวนการ activated sludge ซึ่งสามารถกำจัด COD ได้ถึง 94% และกำจัดสีได้ 36%

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบมาตรฐานน้ำทิ้ง

พารามิเตอร์	น้ำทิ้งจากระบบ mg/L	มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมฟอกย้อม mg/L
COD	19.99 (±9.56)	400
BOD	1.10 (±1.05)	60
สี	0.15 (±0.08)	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
TDS	2,295.75 (±121.27)	3,000

5.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MBR - PAC แบบเติม PAC ครั้งเดียว

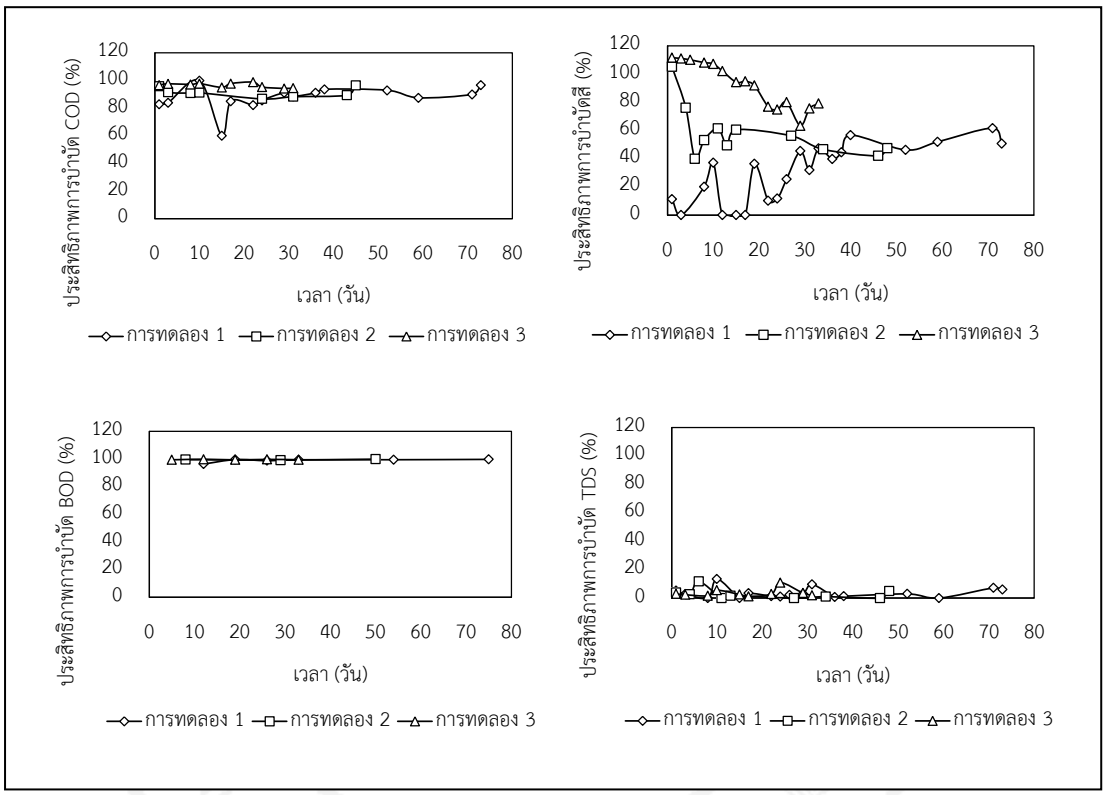
จากผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 2 และ 3 (แผนภูมิที่ 64) ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่มีการเติม PAC 1,000 และ 2,000 mg/L ตามลำดับ สามารถสรุปลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพของระบบบำบัดได้ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 2 พบว่า สัดส่วนของ MLVSS/MLSS ในระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.75 - 0.79 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัด พบว่า น้ำทิ้งมี COD ค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 29.32 (±10.89) mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดเฉลี่ย 91.23 (±3.41)% ส่วน BOD มีค่าเฉลี่ย 1.08 (±0.94) mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย 99.59 (±0.33)% สำหรับความเข้มข้นสี พบว่า ในช่วง 5 วันแรกของการทดลองระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงมากอยู่ในช่วง 105.13 - 76.13% หลังจากนั้นประสิทธิภาพมีแนวโน้มลดต่ำลงจนคงที่ในวันที่ 8 ซึ่งน้ำทิ้งมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยเท่ากับ 0.18 (±0.07) Abs คิดเป็นประสิทธิภาพ ณ สภาวะคงตัวเฉลี่ยเท่ากับ 52.11 (±6.94)% นอกจากนี้ พบว่า น้ำทิ้งมี TDS เฉลี่ย 2,309.19 (±117.22) mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย 2.87 (±3.79)%

ชุดการทดลองที่ 3 พบว่า สัดส่วนของ MLVSS/MLSS ในระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.80 - 0.83 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัด พบว่า น้ำทิ้งมี COD และ BOD ค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.97 (±6.24) mg/L และ 0.84 (±0.42) mg/L ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดเฉลี่ย 96.51 (±1.59)% และ 99.61 (±0.19)% ส่วนความเข้มข้นสีของน้ำทิ้ง พบว่า ในช่วง 12 วันแรก ระบบมีประสิทธิภาพสูงมากอยู่ในช่วงระหว่าง 111.67 - 102.19% หลังจากนั้นประสิทธิภาพมีแนวโน้มลดต่ำลงจนเริ่มคงที่ในวันที่ 22 ของการทดลองซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วงท้ายการทดลองเท่ากับ 0.15 (±0.02) Abs คิดเป็นประสิทธิภาพ ณ สภาวะคงตัวเฉลี่ยเท่ากับ 74.99 (±6.04)% น้ำทิ้งมี TDS เฉลี่ยเท่ากับ 2,241.87 (±85.85) mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 (±2.86)%

จากตารางที่ 11 สรุปได้ว่าการทดลองที่ 3 คือการเติม PAC 2,000 mg/L ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์และสีดีที่สุด อาจเนื่องมาจากการเติม PAC ช่วยเพิ่มพื้นที่ตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ ทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์ที่จะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มาก

แผนภูมิที่ 64 ประสิทธิภาพการบำบัดชุดการทดลองที่ 1-3



ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพการทดลองที่ 1 – 3

พารามิเตอร์	ประสิทธิภาพ (%)		
	การทดลองที่ 1	**การทดลองที่ 2**	**การทดลองที่ 3**
COD	87.42 (±9.14)	91.23 (±3.41)	96.51 (±1.59)
BOD	98.94 (±1.28)	99.59 (±0.33)	99.61 (±0.19)
สี	47.61 (±8.40)	52.11 (±6.94)	74.99 (±6.04)
TDS	3.54 (±3.73)	2.87 (±3.79)	3.51 (±2.86)

5.1.3 ประสิทธิภาพของระบบ MBR - PAC แบบเติม PAC ต่อเนื่อง

จากแผนภูมิที่ 65 ผลการทดลองของชุดการทดลองชุดที่ 4, 5 และ 6 โดยเติม PAC แบบต่อเนื่องในถังปฏิกรณ์ซึ่งชุดการทดลองที่ 4 ควบคุมอายุของ PAC ในถังปฏิกรณ์เท่ากับ 100 วัน และเติม PAC เริ่มต้นที่ 2,000 mg/Lและต้องระบายตะกอนส่วนเกินออกปริมาณ 0.2 L/d และเติม PAC 0.4 g/d ชุดการทดลองที่ 5 กำหนด MLVSS เท่ากับ 5,000 mg/L ควบคุมอายุของ PAC 50 วัน และต้องระบายตะกอนส่วนเกินออกปริมาณ 0.4 L/d และเติม PAC 0.8 g/d ชุดการทดลองที่ 6 กำหนด MLVSS เท่ากับ 5,000 mg/L ควบคุมอายุ PAC 25 วัน และต้องระบายตะกอนส่วนเกินออกปริมาณ 0.8 L/d เติม PAC 1.6 g/d สามารถสรุปลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพของระบบบำบัดได้ดังนี้

จากผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 4 พบว่าสัดส่วนของ MLVSS/MLSS ในระบบอยู่ระหว่าง 0.80 - 0.82 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบ พบว่า น้ำทิ้งมีค่า COD และ BOD เฉลี่ย 19.94 (±5.74) mg/L และ 0.75 (±0.72) mg/L ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย 94.56 (±1.43)% และ 99.69 (±0.31)% ส่วนความเข้มข้นสีของน้ำทิ้ง พบว่า ในช่วง 5 วันแรก ระบบมีประสิทธิภาพสูงมากอยู่ในช่วงระหว่าง 112.31 - 98.88% หลังจากนั้นประสิทธิภาพมีแนวโน้มลดต่ำลงและมีความแปรปรวนอยู่ในช่วงแคบ ๆ ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วงท้ายการทดลองเท่ากับ 0.14 (±0.10) Abs คิดเป็นประสิทธิภาพ ณ สภาวะคงตัวเฉลี่ยเท่ากับ 72.02 (±10.14)% สำหรับค่า TDS พบว่ามีค่าเฉลี่ย 2,250.87 (±82.54) mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ 2.34 (±2.61)%

จากผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 5 พบว่า สัดส่วนของ MLVSS/MLSS ในระบบอยู่ระหว่าง 0.81 - 0.88 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบ พบว่า น้ำทิ้งมีค่า COD และ BOD เฉลี่ย 16.99 (±6.01) mg/L และ 1.14 (±0.88) mg/L ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย 95.20 (±1.63)% และ 99.58 (±0.26)% ส่วนความเข้มข้นสีของน้ำทิ้งมีความแปรปรวนอยู่ในช่วงแคบ ๆ ตลอดการทดลองระหว่าง 0.12 - 0.17 Abs มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.15 (±0.02) Abs คิดเป็นประสิทธิภาพ ณ สภาวะคงตัวเฉลี่ย 71.41 (±10.53)% สำหรับค่า TDS พบว่ามีค่าเฉลี่ย 2,228.93 (±58.14) mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ 2.08 (±1.70)%

จากผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 6 พบว่า สัดส่วนของ MLVSS/MLSS ในระบบอยู่ระหว่าง 0.81 - 0.90 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบ พบว่า น้ำทิ้งมีค่า COD และ BOD เฉลี่ย 16.61 (±6.17) mg/L และ 0.50 (±0.36) mg/L ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย 95.19 (±1.81)% และ 99.76 (±0.20)% ส่วนความเข้มข้นสีของน้ำทิ้งมีความแปรปรวนอยู่ในช่วงแคบ ๆ ตลอดการทดลองระหว่าง 0.018 - 0.176 Abs มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.12 (±0.05) Abs

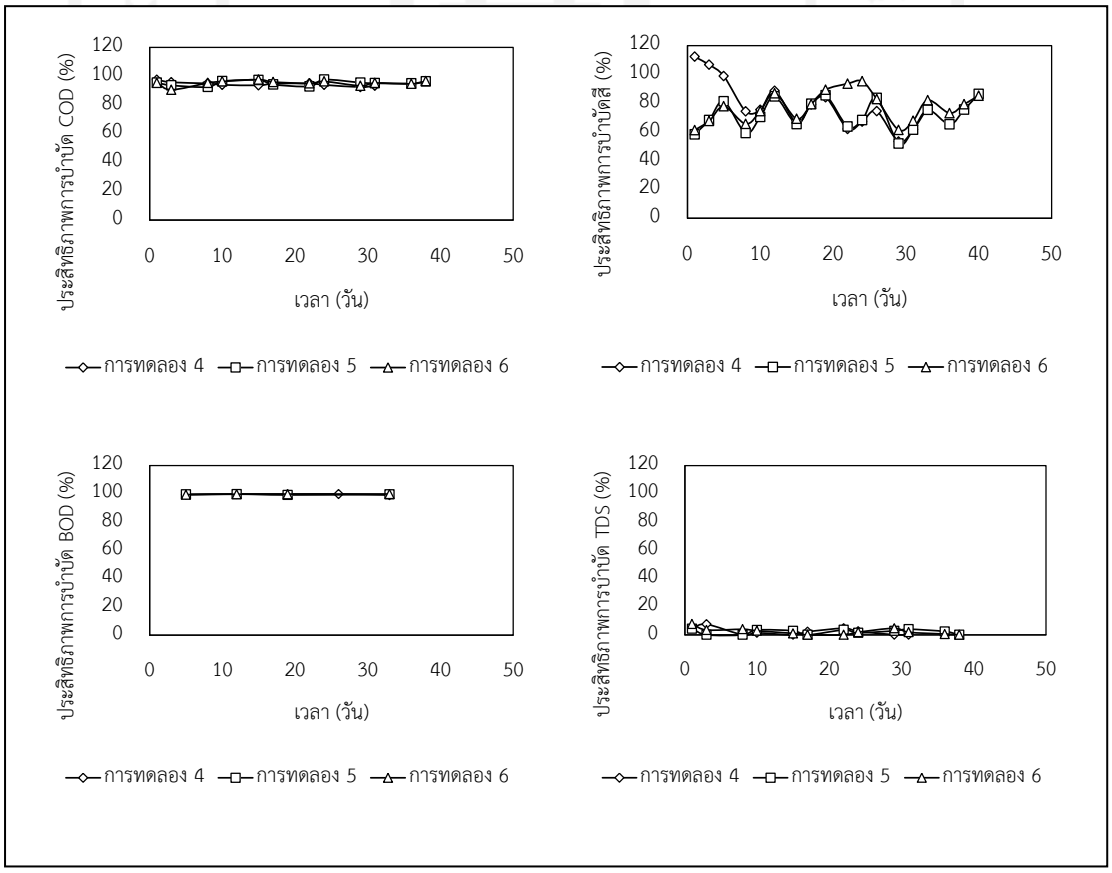
คิดเป็นประสิทธิภาพ ณ สภาวะคงตัวเฉลี่ย 77.38 (±10.49)% สำหรับค่า TDS พบว่ามีค่าเฉลี่ย 2,279.06 (±77.76) mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ 2.34 (±2.34)%

จากตารางที่ 12 สรุปได้ว่าการทดลองที่ 4, 5 และ 6 มีประสิทธิภาพในการบำบัด COD, BOD และสี ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 12 ประสิทธิภาพการทดลองที่ 4 - 6

พารามิเตอร์	ประสิทธิภาพ (%)		
	การทดลองที่ 4	**การทดลองที่ 5**	**การทดลองที่ 6**
COD	94.56 (±1.43)	95.20 (±1.63)	95.19 (±1.81)
BOD	99.69 (±0.31)	99.58 (±0.26)	99.76 (±0.20)
สี	72.02 (±10.14)	71.41 (±10.53)	77.38 (±10.49)
TDS	2.34 (±2.61)	2.08 (±1.70)	2.34 (±2.34)

แผนภูมิที่ 65 ประสิทธิภาพการบำบัดชุดการทดลองที่ 4-6



5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ MBR และ MBR - PAC

1. ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

จากผลการทดลองที่ 1 - 3 สรุปได้ว่า การเติม PAC ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด COD โดยเฉลี่ยเท่ากับ 87.42 (±9.14)%, 91.23 (±3.41)% และ 96.51 (±1.59)% สำหรับระบบ MBR และ MBR - PAC ที่มีการเติม PAC 1,000 และ 2,000 mg/L ตามลำดับ ซึ่งสัมพันธ์กับสัดส่วนของ MLVSS/MLSS ในถังปฏิกรณ์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.70, 0.77 และ 0.82 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติม PAC ช่วยเพิ่มพื้นที่ตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์ที่จะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มาก (สร้อยดาว วินิจนันทรัตน์. 2551) ส่วนประสิทธิภาพการบำบัด BOD มีค่าใกล้เคียงกันในทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเตรียมจากน้ำตาล glucose ซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยได้ง่าย จึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดของแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันไม่มากนัก

2. ประสิทธิภาพการบำบัดสี สรุปได้ดังนี้

1) ระบบ MBR ในช่วงแรกไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสี แต่ในช่วงที่ระบบคงตัว พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดสีเพิ่มขึ้นเป็น 47.61 (±8.40)% ทั้งนี้อาจเนื่องมากจาก ในช่วงแรกของการเดินระบบโมเลกุลของสีที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูพรุนของเยื่อกรองสามารถผ่านการกรองออกไปกับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดได้ ในเวลาต่อมาเมื่อเยื่อกรองเริ่มอุดตันมากขึ้น จนทำให้รูพรุนของเยื่อกรองมีขนาดเล็กลง พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีเพิ่มสูงขึ้น (เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์ และชาติ เจียมไชยศรี. 2554) นอกจากนี้ สร้อยดาว วินิจนันทรัตน์ (2551) ได้รายงานว่า ระบบบำบัดทางชีวภาพสามารถลดความเข้มสีได้ในระยะยาวจากการดูดซับและย่อยสลายของจุลินทรีย์

2) ส่วนระบบ MBR - PAC ที่มีการเติม PAC 1,000 และ 2,000 mg/L การเติม PAC 1,000 และ 2,000 mg/L จะให้ประสิทธิภาพดีกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติม PAC อย่างชัดเจนเฉพาะช่วงแรกของการทดลองทั้งนี้อาจเนื่องมาในช่วงแรกของการทดลองถ่านกัมมันต์กำจัดสีโดยอาศัยกลไกการกรอง (เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์ และชาติ เจียมไชยศรี. 2554) ส่วนในช่วงที่ระบบคงตัว พบว่าการเติม PAC 2,000 mg/L ให้ประสิทธิภาพเฉลี่ย 74.99 (±6.04)% ซึ่งสูงกว่าการเติม PAC 1,000 mg/L ที่ให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 52.11 (±6.94)% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติม PAC ช่วยเพิ่มพื้นที่ตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์ที่จะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มาก (สร้อยดาว วินิจนันทรัตน์. 2551)

3. ประสิทธิภาพการบำบัด TDS พบว่า ระบบ MBR และ MBR – PAC มีประสิทธิภาพการบัดบัด TDS เพียงเล็กน้อย โดยไม่สามารถกำจัด TDS ที่ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบจากเกลือ NaCl ซึ่งเป็นของแข็งละลายคงตัว (Fixed Solids, FS) ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พัฒนพงษ์ ติชะรา

(2552) ที่รายงานว่า เมื่อค่า TDS น้ำเข้าสูงค่า TDS น้ำออกก็จะสูงตามด้วยแต่จะลดลงเล็กน้อย ดังนั้นถ้าต้องการจะบำบัดค่า TDS ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจะต้องใช้วิธีการบำบัดแบบอื่นที่เหมาะสมกว่า

5.2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างการเติม PAC แบบครั้งเดียวและเติมแบบต่อเนื่อง

จากการทดลองของชุดการทดลองที่ 3, 4, 5 และ 6 ที่มีการเติม PAC 2,000 mg/L โดยควบคุมอายุของ PAC สรุปได้ว่า การเติม PAC แบบครั้งเดียวให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD และ BOD เฉลี่ยเท่ากับ 96.51 (±1.59)% และ 99.61 (±0.19)% ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันกับการเติม PAC แบบต่อเนื่องที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD เฉลี่ยอยู่ในช่วง 94.56 (±1.43)% – 95.19 (±1.81)% และประสิทธิภาพการบำบัด BOD เฉลี่ยอยู่ในช่วง 99.58 (±0.26)% – 99.76 (±0.20)% ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดสีการเติม PAC แบบครั้งเดียวให้ประสิทธิภาพ 74.99 (±6.04)% ซึ่งไม่แตกต่างกันกับการเติม PAC แบบต่อเนื่องที่ให้ประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 71.41 (±10.53)% – 77.38 (±10.49)% ส่วนประสิทธิภาพการบำบัด TDS พบว่าไม่แตกต่างกันทั้งในชุดการทดลองที่เติม PAC แบบครั้งเดียวและแบบเติมต่อเนื่อง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในระบบ MBR นี้ไม่สามารถบำบัดค่า TDS ได้ดังแสดงในผลการทดลองที่ 1 - 6 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TDS เฉลี่ยเท่ากับ 2.82 (±2.92)% ดังนั้นจึงควรนำหน่วยบำบัดอื่นมาบำบัดเพิ่มเติม

2. ควรทดลองกับน้ำเสียจริงเพิ่มเติม