

การนำบัดน้ำชาบูดฝอยด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเติมถ่านกันมั่นคงนิรันดร์



นายจตุพร วงศ์เจด

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-676-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๒๐ ส.ค. ๒๕๔๕

19235094

LANDFILL LEACHATE TREATMENT BY BPAC-SBR SYSTEM

Mr. Jatupom Wongjard

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

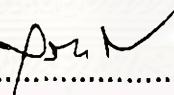
ISBN 974-334-676-7

หัวขอวิทยานิพนธ์ กำหนดน้ำหมุลฝอยด้วยระบบเอกสารที่มีการเติม
ถ่านกัมมันต์ชนิดผง
โดย นายอาทูร วงศ์จัด
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาลิต รัตนธรรมสกุล

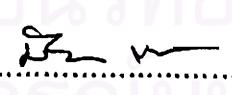
คณะกรรมการศาสตร์ ฯ พิจารณามหาวิทยาลัย อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาบัณฑิต

 คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุวี ใจเย็น)

 อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาลิต รัตนธรรมสกุล)

 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตันทูลเวศ)

 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชีระ เกรอต)

จตุพร วงศ์ชาด : การบำบัดน้ำขยะมูลฝอยด้วยระบบເຄສີອາຣ໌ທີ່ມີການເຕີມຄ່ານກົມມັນຕົວ
ຫຼິດຜົງ (Landfill Leachate Treatment by BPAC-SBR System)
อ.ที่ປຶກຂາ : ພສ.ດຣ. ຂາລືກ ຮັດນອຮມສກູລ, 218 ນ້ຳ. ISBN 974-334-676-7

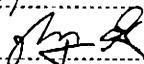
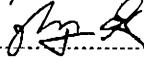
งานวิจัยนີ້ມີວຽດຖານປະສົງເພື່ອສຶກຫາສົ່ງການສົດຫຼືໂດຍ ແລະສິນເນື້ອຂະມຸນຸ່ອຍດ້ວຍຮະບບເຄສີອາຣ໌ທີ່ມີການ
ເຕີມຄ່ານກົມມັນຕົວ (BPAC-SBR) ໂດຍທຳການເປົ້າຍບໍເຫັນປະສົງທີ່ກາພໃນການກຳຈັດຫຼືໂດຍ ແລະສີ ເຊື່ອມີການແປ
ຄ່າຄວາມເຂັ້ມຂັ້ນຜົນຄ່ານກົມມັນຕົວ ຕ່າອາຍຸສັດຕົວ ກວະບຽບຮຸກສາຮອນທີ່ໄຟ ແລະການປະຍຸກຕົວລັກໂຄມຕາໃບລື່ມມາ
ໃຊ້ຮ່ວມກັບຮະບບ BPAC-SBR

ນ້ຳເສີຍທີ່ນໍາມາໃຊ້ຕໍ່ເນີນງານວິຈີຍນີ້ເປັນນ້ຳເສີຍຈາກກອງຜົນກົມມຸນຸ່ອຍທີ່ນໍາມາເຈົ້າຈາກໃໝ່ມີຄວາມເຂັ້ມຂັ້ນ
ຫຼືໂດຍເຂົ້າຮະບບເຫຼັກກັບ 1,000 ມກ./ລ. ອີດເປັນກວະບຽບຮຸກຫຼືໂດຍ 0.571 ກກ./ສບ.ມ.-ວັນ ແລະຄວາມເຂັ້ມສີເຫຼັກກັບ
170.7 ສບ. ພບວ່າຮະບບທີ່ມີຄວາມເຂັ້ມຂັ້ນຜົນຄ່ານກົມມັນຕົວນິດ PL-75 ເຫຼັກກັບ 20,000 ມກ./ລ. ອາຍຸສັດຕົວ 20 ວັນ
ສາມາດກຳຈັດຫຼືໂດຍ ແລະສີ ໄດ້ 75.6 ແລະ 75.4% ຕາມລຳດັບ ໂດຍມີຄວາມເຂັ້ມຂັ້ນຫຼືໂດຍ ແລະຄວາມເຂັ້ມສີໃນນ້ຳອົກ
ເຫຼັກກັບ 246 ມກ./ລ ແລະ 42.1 ສບ. ເຊື່ອທຳການແປຄ່າອາຍຸສັດຕົວເປັນ 30 ວັນ ປະສົງທີ່ກາພໃນການກຳຈັດຫຼືໂດຍ ແລະສີ
ລົດສົງເລື້ອ 67.9 ແລະ 59.1 % ຕາມລຳດັບ ເນື່ອຈາກຄ່າອາຍຸສັດຕົວທີ່ສູງກວ່າຈະມີການເຕີມຜົນຄ່ານກົມມັນຕົວລັກເຂົ້າສູ່
ຮະບບທີ່ຕໍ່າກວ່າ ທີ່ຄວາມເຂັ້ມຂັ້ນຜົນຄ່ານກົມມັນຕົວໃນຮະບບເຫຼັກກັບ ສ້ານວັກລົກໄກກາທຳການຂອງຮະບບສ່ວນໃຫ້ເກີດຈາກກາຫຼຸດ
ຕິດພິວຮ່ວມກັບປົງກົງຢ້າງເສົາ ການເພີ່ມຂຶ້ນຂອງຮ່ວມເວລາແອນແອໃໄປກ ແລະລດຮະຍະເວລາໃນຮ່ວມແອໃໄປກຂອງຮະບບ
BPAC-SBR ໂີ່ສັງຜົລໃຫ້ປະສົງທີ່ກາພໃນການກຳຈັດຫຼືໂດຍ ແລະສີເປັ້ນແປລົງແປລົງໄປ

ໃນການເພີ່ມກວະບຽບຮຸກຫຼືໂດຍເປັນ 1.143 ແລະ 2.286 ກກ./ສບ.ມ.-ວັນ ຮະບບມີປະສົງທີ່ກາພກາກຳຈັດ
ຫຼືໂດຍເຫຼັກກັບ 62.6 ແລະ 49.0 % ແລະມີປະສົງທີ່ກາພກາກຳຈັດສີເຫຼັກກັບ 51.2 ແລະ 34.9 % ຕາມລຳດັບ ກາລົດລົງ
ຂອງປະສົງທີ່ກາພນີ້ສ້າເຫຼຸ້ານີ້ເປັນຜົນຄ່ານກົມມັນຕົວທີ່ຈຳເປັນພິບເຂົ້າສູ່ຮະບບສູງຂັ້ນ
ທຳໄໝມີຜົລໃນກາຍັງຍັງກຳໄກກາທຳການຂອງແບຄທີ່ເຮີຍໃນຮະບບ ອຸ່ນທັງໄປລົດປະສົງທີ່ກາພໃນກາຮູດຕິດສາຮ
ອົນທີ່ໄອນ້ອົງຜົນຄ່ານກົມມັນຕົວທີ່ເປັນກົມໄກສັກຂອງຮະບບອີກດ້ວຍ

ຜົນຂອງປະສົງທີ່ກາພກາກຳຈັດຫຼືໂດຍ ແລະສີ ເພີ່ມສູງຂັ້ນມີປະຍຸກຕົວລັກໂຄມຕາໃບລື່ມມາໃຊ້ຮ່ວມ
ກັບຮະບບ BPAC-SBR ໂດຍການເຕີມນ້ຳຫາລົດທ່າຍສົງໃນນ້ຳຂະມຸນຸ່ອຍ ມີຄວາມເຂັ້ມຂັ້ນຫຼືໂດຍຮ່ວມ 2,000 ມກ./ລ. ທີ່
ອັດຈາກສ່ວນຫຼືໂດຍຈາກນ້ຳຫາລົດທ່າຍຕ່ອນນ້ຳຂະມຸນຸ່ອຍເຫຼັກກັບ 1:1 ແລະມີຄວາມເຂັ້ມສີ 188.3 ສບ. ຮະບບສາມາດກຳຈັດ
ຫຼືໂດຍ ແລະສີໄດ້ເຫຼັກກັບ 89.1 ແລະ 86.3 % ຕາມລຳດັບ ຜົງຫຼືໂດຍ ແລະສີໃນນ້ຳອົກມີຄ່າຕໍ່າກວ່າຮະບບ BPAC-SBR
ປົກຕິ

ຈຸດໝາຍການຮັມໜ້າວິທາຍາລັຍ

ກາລືວິຊາ ວິຊວກຮຽມເສັ່ງແວດັບຄົມ ລາຍມືອ້ອົບປິດ ๑๗๖ 
 ສາຂາວິຊາ ວິຊວກຮຽມເສັ່ງແວດັບຄົມ ລາຍມືອ້ອົບປິດ 
 ປິກາຮົກຂາ 2542 ລາຍມືອ້ອົບປິດ 

##3970216421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : LANDFILL LEACHATE / PAC / BPAC-SBR

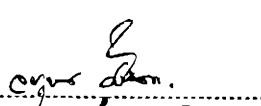
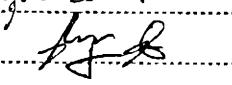
JATUPORN WONGJARD : LANDFILL LEACHATE TREATMENT BY
BPAC-SBR SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DR.
CHAWALIT RATTANATHUMSAKUL, 218 pp. ISBN 974-334-676-7

The objectives of this research were to investigate COD and color removal from landfill leachate by using BPAC-SBR system. The comparison of efficiencies in COD and color removal was done with varying powder activated carbon (PAC) concentration, sludge retention time (SRT), organic loading and application of co-metabolism to BPAC-SBR.

In the experiment with a diluted landfill leachate, having COD 1,000 mg/l. (COD loading 0.571 kg/m³-d) and color 170.7 Su., the system with PAC (PL-75) concentration 20,000 mg/l, SRT 20 days had efficiencies in COD and color removal 75.6 and 75.4 %, respectively. Effluent COD and color were 246 mg/l and 42.1 Su.. Varying SRT to 30 days, efficiencies of COD and color removal decreased to 67.9 and 59.1%, respectively. The reason might be due to the longer SRT, the less amount of PAC addition to system. The main treatment mechanism was mainly due to the combination of adsorption by PAC and biochemical reaction. The variation of anaerobic-aerobic duration did not significant affect the COD and color reduction efficiencies.

Increasing COD loading to 1.143 and 2.286 kg/m³-d, efficiencies of COD removal were 62.6 and 49.0% and efficiencies of color removal were 51.2 and 34.9%, respectively. The decreases in efficiencies may be caused by more amount of toxic organic and inorganic matters in the influent. This could be obstacle of bacteria mechanism and organic adsorption capacity by PAC.

COD and color removal efficiencies were higher when co-metabolism concept was applied to BPAC-SBR by adding sugar to the landfill leachate. This influent had total COD of 2,000 mg/l, at the COD from sucrose : landfill leachate COD ratio of 1:1, and 188.3 Su. of color. This BPAC-SBR system could remove COD and color at 89.1 and 86.3%, respectively, the effluent concentrations in terms of COD and color were lower than those obtained in the case of normal BPAC-SBR.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อผู้จัด 
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ชาลิต รัตนธรรมสกุล เป็นอย่างสูงในฐานะที่ทำเป็น
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นผู้ให้แนวคิดทางทฤษฎีและการปฏิบัติจริง แนะนำให้รู้จักการ
กำหนดกรอบความคิด การวางแผนการทำงาน แนวทางในการทำงาน ตลอดจนแนวทางการแก้ไข
ปัญหาตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำด้านๆ
และช่วยแก้ไขให้วิทยานิพนธ์มีความน่าอ่านน้อยลง รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้ถ่ายทอดความรู้ด้านๆ ให้แก่ผู้เขียน

ขอขอบพระคุณปัณฑิตวิทยาลัย และมูลนิธิชิน โลกลันพันธ์ ที่ให้ทุนอุดหนุนสำนัก
หนังเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณมา วัฒเนย ผู้เป็นหัวหน้าฝ่ายและแรงใจ ให้ผู้เขียนสามารถ
ทำงานวิจัยนี้สำเร็จขึ้นมาได้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ และน้องนิสิตปริญญาโท รวมทั้งเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้กำลังใจและให้ความช่วย

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัว มีด้า มารดา ของผู้เขียน รวมทั้งเหล่าเพื่อน
สนิทที่เปรียบเสมือนครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลืออย่างดีตลอดมา และขอขอบ
คุณความดีอันเกิดจากงานวิจัยนี้แด่มีด้า มารดา ที่สนับสนุนบุตรตลอดมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	๑
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๒
กิตติกรรมประกาศ.....	๓
สารบัญ.....	๔
สารบัญตาราง.....	๘
สารบัญรูป.....	๙
บทที่ 1 บทนำ.....	๑
1.1 ความเป็นมา.....	๑
1.2 วัตถุประสงค์.....	๒
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	๒
บทที่ 2 ทดลอง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	๔
2.1 น้ำหมุลฝอยจากบ่อผึ้งกลบ.....	๔
2.2 ระบบ BPAC-SBR (Biological Powder Activated Carbon-Sequencing Batch Reactor).....	๘
2.3 กระบวนการโคมเมต้าบอเล็ซีม.....	๒๕
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	๒๘
บทที่ 3 การวางแผนการวิจัย.....	๓๗
3.1 แผนการทดลอง.....	๓๗
3.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง.....	๔๐
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	๔๑
3.4 ค่าตอบแทนที่ทำกาวเคราะห์.....	๔๑
3.5 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	๔๔

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล.....	48
4.1 การศึกษาลักษณะของน้ำระบบน้ำดอย.....	48
4.2 การศึกษาเพื่อเลือกชนิด และความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม.....	49
4.3 ผลการทำงานของระบบ SBR ที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์ (BPAC-SBR) ภายในตัวส่วนต่างๆ	57
4.4 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในช่วงระยะเวลา 1 วงจร.....	117
4.5 เซลล์แบตท์เรียในระบบ BPAC-SBR.....	149
4.6 ค่าใช้จ่ายของผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในระบบ BPAC-SBR.....	150
บทที่ 5 สุปัปนการทดลอง.....	153
รายการอ้างอิง.....	155
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการทดลองครั้งที่ 1.....	160
ภาคผนวก ข ผลการทดลองครั้งที่ 2.....	172
ภาคผนวก ค ผลการทดลองครั้งที่ 3.....	179
ภาคผนวก ง ผลการทดลองครั้งที่ 4.....	186
ภาคผนวก จ ผลการทดลองครั้งที่ 5.....	193
ภาคผนวก ฉ คุณสมบัติเฉพาะของผงถ่าน	200
ภาคผนวก ช มาตรฐานน้ำทึบจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	202
ภาคผนวก ช ผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตลอดระยะเวลา 1 วงจร.....	206
ประวัติผู้เขียน.....	218

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 คุณสมบัติของน้ำมูลฝอยของปั๊ฟองกลบใหม่ และปั๊ฟองกลบที่ใช้งานมานาน.....	4
2-2 ลักษณะสมบัติของน้ำมูลฝอยบริเวณกองมูลฝอยอ่อนนุชและหนอนแขม เดือนมีนาคม 2537.....	5
2-3 ผลของการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบแอคติไวเต็ดสลัตർ.....	23
2-4 ความสามารถในการกำจัดองค์ประกลบในน้ำเสีย.....	29
2-5 ตัวแปรควบคุมในการเดินระบบ Chamber Works PACT.....	33
2-6 ความสามารถในการกำจัดสารประกลบต่างๆ ด้วยระบบ Chamber Works PACT.....	34
3-1 ตัวแปรควบคุม และตัวแปรอิสระในแต่ละชุดการทดลอง.....	39
3-2 ระยะเวลาในการทำการทดลอง.....	40
3-3 พารามิเตอร์ ความถี่ และตำแหน่งในการเก็บน้ำตัวอย่างวิเคราะห์.....	44
3-4 ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เติมในแต่ละชุดการทดลอง.....	47
4-1 คุณสมบัติของน้ำมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง.....	48
4-2 ค่าความเข้มข้นที่เหลือจากการถูดติด ของการทำ Isotherm test.....	50
4-3 ค่า q (ความเข้มข้นที่ถูกถูดติด/ความเข้มข้นผงถ่าน).....	50
4-4 ประสิทธิภาพการกำจัดรีโซดี และสี จาก Isotherm test ของผงถ่านทั้ง 3 ชนิด.....	54
4-5 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ในช่วง steady state ที่ความเข้มข้นผงถ่านต่างกัน.....	63
4-6 ประสิทธิภาพการกำจัดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ความเข้มข้นผงถ่านต่างกัน.....	64
4-7 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ในช่วง steady state ของศึกษาการเปลี่ยนแปลงอายุสลัตർ.....	75
4-8 ประสิทธิภาพการกำจัดพารามิเตอร์ต่างๆ ในช่วง steady state ของศึกษาการเปลี่ยนแปลงอายุสลัตർ.....	75
4-9 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ในช่วง steady state ที่ช่วงเวลาแอนโอดิบิก-แอกซิบิกต่างกัน.....	82
4-10 ประสิทธิภาพการกำจัดพารามิเตอร์ต่างๆ ในช่วง steady state ที่ช่วงเวลาแอนโอดิบิก-แอกซิบิกต่างกัน.....	83
4-11 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ในช่วง steady state ที่ภาวะรกรากอินทรีย์ต่างกัน.....	96

4-12	ประสิทธิภาพการกำจัดพารามิเตอร์ต่างๆ ในช่วง steady state ที่กระบวนการทุกอินทรีย์ต่างกัน.....	97
4-13	ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ในช่วง steady state เมื่อนำกระบวนการ โดยมาตรฐานมาใช้ร่วมกับระบบ BPAC-SBR.....	114
4-14	ประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ต่างๆ ในช่วง steady state เมื่อนำกระบวนการ โดยมาตรฐานมาใช้ร่วมกับระบบ BPAC-SBR.....	115
4-15	ความเข้มข้นผงถ่านและความเข้มข้นเซลล์แบบคทีเรียในระบบ.....	150

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน BOD/COD, VS/FS, COD/TOC และ pH กับระยะเวลา.....	6
2-2 แผนผังการทำงานของระบบເຂສົ້າງ.....	10
2-3 ภูมิศาสตร์ของพวงหรือช่องว่างภายในแยกตัวเรticular.....	14
2-4 กราฟสำหรับสมการเส้นตรงของสมการ Freundlich.....	19
2-5 กราฟสำหรับสมการเส้นตรงของสมการ Langmuir.....	20
2-6 แผนผังโดยทั่วไปของระบบ PACT.....	21
2-7 โคเมตาบอลิซึมของ o-xylene.....	27
3-1 ขนาดของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง.....	42
3-2 แผนภูมิการทำงานของระบบ BPAC-SBR.....	43
4-1 ความเข้มข้นซีโอดีที่ถูกตัดติด/ความเข้มข้นผงถ่าน จาก Isotherm test.....	52
4-2 ความเข้มข้นสีที่ถูกตัดติด/ความเข้มข้นผงถ่าน จาก Isotherm test.....	53
4-3 ประสิทธิภาพการทำจัดซีโอดีในน้ำระบุผลอย่างผงถ่านทั้งสามชนิด.....	54
4-4 ประสิทธิภาพการทำจัดสีในน้ำระบุผลอย่างผงถ่านทั้งสามชนิด.....	55
4-5 ผลการทำงานของระบบทดลองช่วงระยะเวลาทำการทดลอง ที่ความเข้มข้นผงถ่านต่างกัน.....	58
4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำจัดซีโอดีกับความเข้มข้นผงถ่าน ^{ในระบบ BPAC-SBR.....}	65
4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำจัดสีกับความเข้มข้นผงถ่าน ^{ในระบบ BPAC-SBR.....}	66
4-8 ความสัมพันธ์ประสิทธิภาพการทำจัดที่เคอี็นกับความเข้มข้นผงถ่าน ^{ในระบบ.....}	68
4-9 ผลการทำงานของระบบทดลองช่วงระยะเวลาทำการทดลอง ที่อายุสัลตร์ต่างกัน.....	70
4-10 ประสิทธิภาพการทำจัดซีโอดี สี และที่เคอี็นของชุดการทำทดลอง ที่มีอายุสัลตร์ต่างกัน.....	76
4-11 ผลการทำงานของระบบทดลองช่วงระยะเวลาทำการทดลอง ที่ช่วงเวลาแอนໂຣນິກ-ແອໂຣນິກต่างกัน.....	78

4-12	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี สี และทีเคเอ็นของชุดการทดลองที่มีระยะเวลาแอนโนบิก-แอนโนบิกต่างกัน	83
4-13	ผลการทำงานของระบบทดลองช่วงระยะเวลาทำรายการทดลองที่มีการระบุรากุลสารอินทรีย์ต่างกัน	86
4-14	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ BPAC-SBR กับการระบุรากุลสารอินทรีย์.....	98
4-15	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบ BPAC-SBR กับการระบุรากุลสารอินทรีย์.....	99
4-16	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบ BPAC-SBR กับการระบุรากุลสารอินทรีย์.....	100
4-17	ผลการทำงานของระบบทดลองช่วงระยะเวลาทำรายการทดลอง เมื่อนำกระบวนการคอมเต็บลิซีมมาใช้ร่วมกับระบบ BPAC-SBR	102
4-18	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี สี และทีเคเอ็นของชุดการทดลองที่มีกระบวนการกำนับด้วยวิธีต่างกัน	115
4-19	การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดระยะเวลา 1 วงจร ของรายการทดลองครั้งที่ 1	118
4-20	การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดระยะเวลา 1 วงจร ของรายการทดลองครั้งที่ 2	125
4-21	การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดระยะเวลา 1 วงจร ของรายการทดลองครั้งที่ 3	131
4-22	การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดระยะเวลา 1 วงจร ของรายการทดลองครั้งที่ 4	136
4-23	การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดระยะเวลา 1 วงจร ของรายการทดลองครั้งที่ 5	143