



รายงานการวิจัย

การบำบัดและการใช้ประโยชน์จากน้ำเสีย

Waste Water Treatments and Utilities

โดย

ผศ. ดร. สำเนียง อภิสันติยาคม

ดร. สุชาติ นิลแสง

ดร. พิทยา ถกลภักดี

นายรัตตชล อ่างมณี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ

พ.ศ. 2553

b00252854



กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องการบำบัดและใช้ประโยชน์จากน้ำเสียนี้ สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนจากบุคคลและองค์กรหลายฝ่าย ขอขอบคุณ ผู้จัดการนิคมอุตสาหกรรมบ้านหว้า (ไฮเทค) ผู้จัดการนิคมอุตสาหกรรมบางกะดี ผู้จัดการบริษัท ไทยคูลิโกะ จำกัด ผู้จัดการบริษัท เอเชีย เปเปอร์ทิว จำกัด ผู้อำนวยการบริษัท อุตสาหกรรมนมไทย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ฝ่ายสิ่งแวดล้อม เจ้าหน้าที่ประจำบำบัดน้ำทิ้ง และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ตอบข้อซักถาม และอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง รวมทั้งนักศึกษาโปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมชั้นปีที่ 4 เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์วิทยาศาสตร์ ท่านคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กับทั้งท่านผู้บริหารมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือ อำนวยความสะดวก และให้ความอนุเคราะห์เป็นอย่างดียิ่ง

สุดท้ายขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2552



คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สำเนียง อภิสันติยาคม
 ดร. สุราสินี นิลแสง
 ดร. พิทยา ถกถภักดี
 นาย รัตชล อ่างมณี

บทคัดย่อ

246846

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการจัดการน้ำเสียในแ่งมุมของสิ่งแวดล้อม เคมี และชีววิทยา โดยงานวิจัยในส่วนแรกจะเป็นการศึกษาการจัดการน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้หินภูเขาไฟ ส่วนหลังจะเป็นการใช้ประโยชน์จากน้ำเสียโดยการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในการผลิตกรดแลคติก และพอลิไฮดรอกซีบิวทีเรท (PHB)

การศึกษาทางด้านสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ ด้วยหินพัมมิช และระบบฟีกเบท เพื่อกำจัด แอมโมเนีย และไนไตรท์ โดยใช้ระบบที่มีการสร้างน้ำเสียสังเคราะห์โดยการนำน้ำจำนวน 5,000 ลิตร เติมเลือดหมู นม น้ำตาล เพื่อเป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ในธรรมชาติ และทดลองบำบัดโดยระบบสร้างระบบ Fixed bed reactor โดยออกแบบให้ถึงบรรจุตัว reactor มีขนาดความจุ 80 ลิตร เชื่อมต่อกับถังบรรจุน้ำเสียปริมาตรความจุ 1,000 ลิตร และติดตั้งปั้มน้ำให้น้ำไหลเวียนผ่านในระบบ 800 ลิตร/ชั่วโมง น้ำที่ไหลผ่าน reactor จะไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนเพื่อให้น้ำไหลผ่านวัสดุกรองอย่างสม่ำเสมอ และติดตั้ง media ได้แก่ หินพัมมิช ปะการัง เปลือกหอย และซีเถ้า เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการบำบัดใดๆ และเติมออกซิเจนเพียงอย่างเดียว จากผลการทดลองพบว่าหินพัมมิชมีความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ได้ดีที่สุด โดยใช้ดัชนีชี้วัดจากค่า BOD5 เฉลี่ยตลอด 45 วันที่ทำการทดลอง ที่วัดได้ต่ำที่สุดคือ 89.02 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาได้แก่ ระบบบำบัดที่ใช้ปะการัง 96.96 มิลลิกรัมต่อลิตร และระบบบำบัดที่ใช้เปลือกหอย 98.72 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองพบว่าหินพัมมิชสามารถบำบัด สารอินทรีย์ในโตรเจนได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ได้ดีที่สุด

การศึกษาถึงประสิทธิภาพการนำหินพัมมิชใช้ในการบำบัดน้ำเสียในมุมของโลหะหนักซึ่งโลหะทั้ง 5 ชนิดที่ได้ทำการศึกษาได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท สังกะสี และทองแดง ซึ่งในการทดลองนี้ได้เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณของโลหะทั้ง 5 ชนิด มากกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม 10 เท่า และมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.5 – 5.5

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก (แบบ continuous) ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก การทดลองนี้ใช้หินพัมมิชขนาดไม่เกิน 4.75 มิลลิเมตร ซึ่งได้แก่ หินพัมมิชลพบุรี 1 หินพัมมิชลำปาง 1 หินพัมมิชอินโดนีเซีย 1 พบว่าหินพัมมิชจากอินโดนีเซียมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักตะกั่วได้ดีที่สุดร้อยละ 84.26 แคดเมียมร้อยละ 80.59 ทองแดงร้อยละ 78.64 และสังกะสีร้อยละ 75.15 ส่วนผลการศึกษาการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก (แบบ batch)

246846

พบว่าดูดซับโลหะหนักตะกั่วได้ดีที่สุดร้อยละ 85.24 แคดเมียมร้อยละ 81.79 ทองแดงร้อยละ 79.52 และสังกะสีร้อยละ 77.42

ในการศึกษาการคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตกรดแลคติกและพอลิไฮดรอกซีบิวทิเรท (PHB) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนการบำบัดและในระหว่างกระบวนการบำบัดของบ่อบำบัดรวมในเขตนิคมอุตสาหกรรมจังหวัดพระนครศรีอยุธยาและเขตนิคมอุตสาหกรรมจังหวัดปทุมธานี ทั้งหมด 3 แห่ง คือ นิคมอุตสาหกรรมไฮเทค นิคมอุตสาหกรรมบางกะดี นิคมอุตสาหกรรมโรจนะ และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งระหว่างการบำบัดจากโรงงานอุตสาหกรรมเป้าหมาย อีก 3 แห่งคือ บริษัท ไทยกาลีโกะ จำกัด บริษัท เอเชียเปเปอร์ทิว จำกัด และ บริษัท อุตสาหกรรมนมไทย จำกัด พบว่าคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำทิ้งตัวอย่างมีตะกอนค่อนข้างมาก pH อยู่ในช่วง 5.43-7.98 และค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 15.5-540 มิลลิกรัม/ลิตรผลการคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตกรดแลคติกและ PHB ที่จัดอยู่ในกลุ่มจุลินทรีย์แกรมบวกได้ทั้งสิ้น 69 ไอโซเลตจาก 39 ตัวอย่างน้ำทิ้ง และเลือกไอโซเลตที่ผลิตกรดแลคติกสูงสามอันดับต้น คือ ไอโซเลต 9G 16G และ 17G มีปริมาณกรดแลคติกเท่ากับ 0.381 0.379 และ 0.420 กรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อจัดจำแนกสายพันธุ์จุลินทรีย์พบว่าเป็น *Candida mengyuniae* *Lactobacillus fermentum* และ *Lactobacillus plantarum* ตามลำดับ สำหรับสามอันดับต้นที่สามารถผลิต PHB ได้สูงคือ ไอโซเลต 9R 4G และ 2M มีปริมาณ PHB เท่ากับ 27.80 23.50 และ 25.20 กรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อจัดจำแนกสายพันธุ์จุลินทรีย์พบว่าเป็น *Lactobacillus plantarum* *Pichia kudriavzevii* และ *Corynebacterium vitarumen* ตามลำดับ ซึ่งสายพันธุ์ที่คัดแยกได้จากน้ำทิ้งก่อนการบำบัดนี้สามารถขยายผลไปใช้ในการผลิตสารตั้งต้นสำหรับทำพลาสติกชีวภาพในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

Abstract

246846

The studies of this research related to the waste water management and can be divided into environmental, chemistry and biology areas. The first parts involved with the study of waste management using pumice stone. The last part related to the uses waste water from the useful microorganism selection for lactic acid and Polyhydroxybutyrate (PHB) production.

Microorganism Efficiency in Biological Waste Water Treatment using Pumice Stone and Fixed Bed Reactor for Ammonia and Nitrite Elimination was studied. In this system, the waste water synthesis (5,000 Liters) was prepared from pig blood, milk and sugar. This waste water was represented as organic substances in nature. The fixed bed reactor with the reactor container (80 L) was tested and connected to a waste water container (1,000 L). The water circulation was 800 L/hour and the waste water was passed through medias which were pumice stone, coral, sea shell and ash. The previous system was compared to the controlled system (no media). The results found that the efficiency of pumice stone had the highest qualities for organic treatments among those medias. The BOD₅ values during 45 working days showed that the minimum BOD₅ was found from the pumice system (89.02 mg/L) and then followed by the coral system (96.96 mg/L) and the sea shell system (98.72 mg/L) respectively, respectively. The results also displayed that the pumice stone system lead the most efficiency to treat both ammonia and nitrite.

The study of heavy metal adsorption efficiency using continuous type via Pumice stone (≤ 4.75 mesh) was studied. The pumice stone types in this research were from Lopburi Lampang and Indonesia. The results found that the pumice stone from Indonesia showed a good adsorption abilities. The heavy metal adsorption efficiency was shown as follow; lead (84.26%), cadmium (80.59%), copper (78.64%) and zinc (75.15%); respectively. The result of the heavy metal adsorption efficiency using batch type was also under investigated and was show as follow; lead (84.24%), cadmium (81.79%), copper (79.52%) and zinc (74.42%); respectively.

According to those results; it was also revealed that the pumice stone from Lopburi has the lower adsorption ability to the pumice stone from both Lampang and Indonesia due to the amount of Al_2O_3 inside the structure of pumice stone. The more Al_2O_3 contents, the more heavy

246846

metal absorption active sites were gained. In addition the Al_2O_3 content pumice stone from Lampang and Indonesia were 24.25%

The study of isolate microorganisms especially bacteria for the monomer of bioplastic production such as lactic acid and PHB (Polyhydroxybutyrate) from in-process of waste water treatments was used. Waste water samples from central waste water plants of the industrial estate in Ayutthaya and Pathumtani provinces including Hi-Tech industrial estate, Bangkadi industrial estate and Rojana industrial estate were screened for monomer producing. Bacteria Moreover, waste water from factories in scope area including Thai Glico Co. Ltd., Asia Paper Tube Co.,Ltd. and Thai Milk Industrial Co.,Ltd. were also collected. The characteristics of all samples were lot of sludge and mud, pH around 5.43-7.98 and BOD around 15.5-540 mg/L. A number of 69 selected isolates were obtained from 39 waste water samples and then evaluated for the potential of lactic acid and PHB production. Finally, 3 isolates, 9G, 16G and 17G, which produced high lactic acid (0.381 0.379 and 0.42 g/L) respectively, were selected and then identified by partial 16s rDNA sequencing and D1-D2 sequencing region. The identification result implied that those strains were similar to *Candida mengyuniiae*, *Lactobacillus fermentum* and *Lactobacillus plantarum*, respectively. For PHB production, 3 selected isolates, 9R 4G and 2M could produce high PHB. There were produced PHB as high as 27.80, 23.50 and 25.20 g/L, respectively. The identification result shown that those strains were similar to *Lactobacillus plantarum*, *Pichia kudriavzevii* and *Corynebacterium vitarumen*, respectively. All of these 6 strains selected from waste water showed high monomer production which can be used for bioplastic monomer production in industrial scale for the further studied.

สารบัญเรื่อง

หัวข้อเรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
บทคัดย่อ	(2)
ABSTRACT	(4)
สารบัญเรื่อง	(6)
สารบัญภาพ	(9)
สารบัญตาราง	(12)
สารบัญตารางผนวก	(14)
โครงการวิจัยที่ 1 การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยใช้หินพัมมิช (ORGANIC REMOVAL OF WASTE WATER BY USING PUMICE STONE)	1-1
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1-1
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1-2
3. สมมติฐานการวิจัย	1-2
4. นิยามศัพท์	1-2
5. ขอบเขตการวิจัย	1-3
6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-4
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1-5
1. กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Fixed bed reactor	1-5
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่องการบำบัดและใช้ประโยชน์จากน้ำเสีย และการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยใช้หินพัมมิช	1-26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	1-31
1. โครงการวิจัยที่ 1 การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยใช้หินพัมมิช	1-31
บทที่ 4 ผลการวิจัย	1-34
1. ผลการวิจัยโครงการวิจัยที่ 1 ผลการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยใช้หินพัมมิช	1-34
บทที่ 5 สรุปอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	1-86
1. สรุปผลการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยใช้หินพัมมิช	1-86
โครงการวิจัยที่ 2 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้สารดูดซับ (HEAVY METAL REMOVAL FROM WASTE WATER USING ADSORBENTS)	2-1
บทที่ 1 บทนำ	2-2
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	2-2

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

หัวเรื่อง	หน้า
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2-3
3. สมมติฐานการวิจัย	2-3
4. นิยามศัพท์	2-3
5. ขอบเขตการวิจัย	2-4
6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2-4
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-6
1. การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้สารดูดซับ	2-6
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้สารดูดซับ	2-20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	2-26
1. การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้สารดูดซับ	2-26
บทที่ 4 ผลการวิจัย	2-33
1. ผลการวิจัยโครงการวิจัยที่ 2 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้สารดูดซับ	2-33
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	2-46
1. สรุปผลการวิจัย โครงการวิจัยที่ 2 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้สารดูดซับ	2-46
โครงการวิจัยที่ 3 การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์เพื่อผลิตสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากน้ำทิ้ง โรงงานอุตสาหกรรม (ISOLATION MICROORGANISMS FOR BIOPLASTIC MONOMER PRODUCTION FROM INDUSTRIAL WASTE WATER)	3-1
บทที่ 1 บทนำ	3-2
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	3-2
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3-2
3. สมมติฐานการวิจัย	3-2
4. นิยามศัพท์	3-2
5. ขอบเขตการวิจัย	3-3
6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3-4
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3-5
1. โครงการย่อยที่ 3 การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์เพื่อผลิตสารตั้งต้นในการผลิต พลาสติกชีวภาพจากน้ำทิ้ง โรงงานอุตสาหกรรม	3-5
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่องการบำบัดและใช้ประโยชน์จากน้ำเสีย	3-9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	3-16

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

หัวเรื่อง	หน้า
1. การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์เพื่อผลิตสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม	3-16
บทที่ 4 ผลการวิจัย	3-20
1. ผลการวิจัย โครงการวิจัยที่ 3 การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์เพื่อผลิตสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม	3-20
บทที่ 5 สรุปอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	3-41
1. สรุปผลการวิจัย โครงการวิจัยที่ 3 การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์เพื่อผลิตสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม	3-41
บรรณานุกรม	บ-1
ภาคผนวก 1	ภ-1
1. ส่วนประกอบของหินพิมพ์ที่มีผู้ศึกษาไว้แล้ว	ภ-1
ภาคผนวก 2	ภ-8
2. วิธีการจำแนกชนิด/Method of identification 16S rDNA sequencing	ภ-8
ภาคผนวก 3	ภ-9
1. ลำดับนิวคลีโอไทด์/Nucleotide sequencing	ภ-9
2. %Similarity of 16S rDNA compared with closely related species	ภ-10
3. Phylogenetic relationship compared with closely related species	ภ-10
4. Phylogenetic relationship compared with closely related species	ภ-11
ประวัติผู้วิจัย	ภ-12

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1.1	หีนพัมมิช 1-6
ภาพที่ 1.2	ภาพขยายของหีนพัมมิชโดยเครื่อง SEM 1-8
ภาพที่ 1.3	ภาพขยายของหีนพัมมิชโดยเครื่อง SEM 1-8
ภาพที่ 1.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง % NH ₃ กับพีเอช 1-16
ภาพที่ 1.5	Biofilm cycle 1-20
ภาพที่ 1.6	Upflow anaerobic filter (UAF) และ Downflow anaerobic flow (DEF) 1-21
ภาพที่ 1.7	ตัวกลางที่นิยม 1-22
ภาพที่ 1.8	ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 1-32
ภาพที่ 1.9	กราฟแสดงผลการตรวจวัดอุณหภูมิ 1-36
ภาพที่ 1.10	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่า pH 1-38
ภาพที่ 1.11	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่า pH ของระบบที่ไม่มีกำบับ 1-39
ภาพที่ 1.12	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่า pH ของระบบกำบับที่เติมออกซิเจน 1-40
ภาพที่ 1.13	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่า pH ของระบบกำบับที่ใช้หีนพัมมิช 1-41
ภาพที่ 1.14	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่า pH ของระบบกำบับที่ใช้ปะการัง 1-42
ภาพที่ 1.15	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่า pH ของระบบกำบับที่ใช้เปลือกหอย 1-43
ภาพที่ 1.16	เส้นแนวโน้มของค่า pH จากการวิเคราะห์ของระบบกำบับประเภทต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 1-46
ภาพที่ 1.17	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าแอมโมเนีย (mg/L) 1-48
ภาพที่ 1.18	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าแอมโมเนียของระบบที่ไม่มีกำบับ (mg/L) 1-49
ภาพที่ 1.19	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าแอมโมเนียของระบบที่เติมออกซิเจน (mg/L) 1-50
ภาพที่ 1.20	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าแอมโมเนียของระบบกำบับที่ใช้หีนพัมมิช (mg/L) 1-51
ภาพที่ 1.21	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าแอมโมเนียของระบบกำบับที่ใช้ปะการัง (mg/L) 1-52
ภาพที่ 1.22	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าแอมโมเนียของระบบกำบับที่ใช้เปลือกหอย (mg/L) 1-53
ภาพที่ 1.23	เส้นแนวโน้มของค่าแอมโมเนียจากการวิเคราะห์ระบบกำบับประเภทต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 1-54
ภาพที่ 1.24	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าไนไตรท์ (mg/L) 1-58
ภาพที่ 1.25	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าไนไตรท์ของระบบที่ไม่มีกำบับ (mg/L) 1-59
ภาพที่ 1.26	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าไนไตรท์ของระบบที่ไม่เติมออกซิเจน (mg/L) 1-60
ภาพที่ 1.27	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าไนไตรท์ของระบบที่ใช้หีนพัมมิชกำบับ (mg/L) 1-61
ภาพที่ 1.28	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าไนไตรท์ของระบบที่ใช้ปะการังในการกำบับ (mg/L) 1-62
ภาพที่ 1.29	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าไนไตรท์ของระบบที่ใช้เปลือกหอยในการกำบับ (mg/L) 1-63
ภาพที่ 1.30	เส้นแนวโน้มของค่าไนไตรท์จากการวิเคราะห์ระบบกำบับประเภทต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 1-65

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
ภาพที่ 1.31	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าไนเตรท (mg/L)	1-67
ภาพที่ 1.32	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าไนเตรทของระบบที่ไม่มีกรบ้ำบัด (mg/L)	1-68
ภาพที่ 1.33	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าไนเตรทของระบบที่เติมออกซิเจน (mg/L)	1-69
ภาพที่ 1.34	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าไนเตรทของระบบที่ใช้หินพัมมิชบ้ำบัด (mg/L)	1-70
ภาพที่ 1.35	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าไนเตรทของระบบบ้ำบัดที่ใช้ปะการัง (mg/L)	1-71
ภาพที่ 1.36	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่าไนเตรทของระบบบ้ำบัดที่ใช้เปลือกหอย (mg/L)	1-72
ภาพที่ 1.37	เส้นแนวโน้มของค่าไนเตรทจากการวิเคราะห์ระบบบ้ำบัดประเภทต่างๆที่ใช้ในการทดลอง	1-74
ภาพที่ 1.38	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่า BOD ₅	1-77
ภาพที่ 1.39	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่า BOD ₅ ของระบบที่ไม่มีกรบ้ำบัด	1-78
ภาพที่ 1.40	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่า BOD ₅ ของระบบที่เติมออกซิเจน	1-79
ภาพที่ 1.41	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่า BOD ₅ ของระบบบ้ำบัดที่ใช้หินพัมมิช	1-80
ภาพที่ 1.42	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่า BOD ₅ ของระบบบ้ำบัดที่ใช้ปะการัง	1-81
ภาพที่ 1.43	กราฟแสดงผลการตรวจวัดค่า BOD ₅ ของระบบบ้ำบัดที่ใช้เปลือกหอย	1-82
ภาพที่ 1.44	เส้นแนวโน้มของค่า BOD ₅ จากการวิเคราะห์ของระบบบ้ำบัดประเภทต่างๆที่ใช้ในการทดลอง	1-84
ภาพที่ 2.1	ปฏิกิริยาระหว่าง carbodithioate salt กับ alkylating agent	2-12
ภาพที่ 2.2	ปฏิกิริยา transesterification ระหว่าง carboxymethyl dithiocarboxylate กับ thiol	2-12
ภาพที่ 2.3	ปฏิกิริยากับสารละลายของ Davy หรือสารละลายของ Lawessons	2-13
ภาพที่ 2.4	กระบวนการแทนที่ของอนุมูลอิสระบนตำแหน่งเอสเทอร์	2-13
ภาพที่ 2.5	กลไกปฏิกิริยาผ่าน Michael addition	2-13
ภาพที่ 2.6	กลไกปฏิกิริยาผ่าน Markovnikoff addition	2-14
ภาพที่ 2.7	การสลายตัวเป็นอนุมูลอิสระของสาร bis (thioacyl) disulfide	2-14
ภาพที่ 2.8	ปฏิกิริยากับสารประกอบ 1,1'-thiocarbonyl diimidazole	2-15
ภาพที่ 2.9	การเปลี่ยน initiator ของ ATRP ไปเป็นสารแลกเปลี่ยนสายโซ่ในกระบวนการ RAFT	2-15
ภาพที่ 2.10	หินพัมมิชลพบุรีก่อนทำความสะอาด	2-33
ภาพที่ 2.11	หินพัมมิชลำปางก่อนทำความสะอาด	2-33
ภาพที่ 2.12	หินพัมมิชอิน โคนีเซียก่อนทำความสะอาด	2-34
ภาพที่ 2.13	หินพัมมิชลพบุรีหลังทำความสะอาด	2-34
ภาพที่ 2.14	หินพัมมิชลำปางหลังทำความสะอาด	2-34
ภาพที่ 2.15	หินพัมมิชอิน โคนีเซียหลังทำความสะอาด	2-35

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 2.16	เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันผ่านอนุมูลอิสระระหว่าง สไตรีน 4-vinyl styrene และ 4 styrene sulfuric acid , sodium salt	2-41
ภาพที่ 2.17	หินพิมพ์กับสไตรีนผ่านกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ	2-42
ภาพที่ 2.18	methyl α -bromophenyl acetate	2-43
ภาพที่ 2.19	โครงสร้างของ Methyl 2-(2-methoxybenzodithioyl)-2-phenylacetate (MoBDP)	2-43
ภาพที่ 2.20	ORTEP ของ Methyl 2-(2-methoxybenzodithioyl)-2-phenylacetate (MoBDP)	2-44
ภาพที่ 2.21	ขั้นตอนการสังเคราะห์ของ Methyl 2-(4-methoxybenzodithioyl)-2-phenylacetate (MpBDP)	2-44
ภาพที่ 2.22	ORTEP ของ methyl 2-(4-methoxybenzodithioyl)-2-phenylacetate (MpBDP)	2-45
ภาพที่ 3. 1	บริเวณที่เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดรวมนิคมอุตสาหกรรมไฮเทค	3-23
ภาพที่ 3. 2	บริเวณตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดรวมนิคมอุตสาหกรรมบางกะดี	3-25
ภาพที่ 3. 3	บริเวณตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดรวมนิคมอุตสาหกรรมโรจนะ	3-27
ภาพที่ 3. 4	บริเวณตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งบริษัท ไทยคูลิโกะ จำกัด	3-32
ภาพที่ 3. 5	บริเวณตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง บริษัท เอเชียเปเปอร์ทิว จำกัด	3-36
ภาพที่ 3.6	บริเวณตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง บริษัท อุตสาหกรรมนมไทย จำกัด	3-37

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1.1	ส่วนประกอบของหินพิมพ์มิช	1-6
ตารางที่ 1.2	แสดงขนาด (grain Size) ค่าพื้นที่ผิว (surface area) และขนาดของช่องว่าง (Pore Size)	1-6
ตารางที่ 1.3	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของหินพิมพ์มิชประเทศต่างๆ	1-7
ตารางที่ 1.4	ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ	1-34
ตารางที่ 1.5	ค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยของผลการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ	1-36
ตารางที่ 1.6	ผลการตรวจวัดค่า pH	1-36
ตารางที่ 1.7	ค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยของผลการตรวจวัดค่า pH	1-38
ตารางที่ 1.8	การวิเคราะห์ข้อมูลผลการตรวจวัดค่า pH	1-44
ตารางที่ 1.9	ผลการตรวจวัดค่าแอมโมเนีย (mg/L)	1-46
ตารางที่ 1.10	ค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยของผลการตรวจวัดปริมาณแอมโมเนีย (mg/L)	1-48
ตารางที่ 1.11	การวิเคราะห์ข้อมูลผลการตรวจวัดค่าแอมโมเนีย	1-54
ตารางที่ 1.12	ผลการตรวจวัดค่าไนไตรท์ (mg/L)	1-56
ตารางที่ 1.13	ค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยของผลการตรวจวัดปริมาณไนไตรท์ (mg/L)	1-57
ตารางที่ 1.14	การวิเคราะห์ข้อมูลผลการตรวจวัดค่าไนไตรท์	1-64
ตารางที่ 1.15	ผลการตรวจวัดค่าไนเตรท (mg/L)	1-65
ตารางที่ 1.16	ค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยของผลการตรวจวัดปริมาณไนเตรท (mg/L)	1-67
ตารางที่ 1.17	การวิเคราะห์ข้อมูลผลการตรวจวัดค่าไนเตรท	1-73
ตารางที่ 1.18	ผลการตรวจวัดค่า BOD5	1-75
ตารางที่ 1.19	ค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยของผลการตรวจวัดค่า BOD5	1-76
ตารางที่ 1.20	การวิเคราะห์ข้อมูลผลการตรวจวัดค่า BOD5	1-83
ตารางที่ 1.21	ขนาดของ BET พื้นที่ผิว avg. pore diameter	1-85
ตารางที่ 1.22	ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหินพิมพ์มิชในการบำบัดน้ำเสีย	1-87
ตารางที่ 1.23	ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของมีเดียที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย	1-87
ตารางที่ 2.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหินพิมพ์มิชลพบุรี	2-35
ตารางที่ 2.2	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหินพิมพ์มิชลำปาง	2-36
ตารางที่ 2.3	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของหินพิมพ์มิชอินโดนีเซีย	2-36
ตารางที่ 2.4	มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	2-38
ตารางที่ 2.5	การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์	2-39
ตารางที่ 2.6	การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์	2-40
ตารางที่ 3.1	ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำทิ้งนิคมอุตสาหกรรมไฮเทค	3-23

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 3.2	ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของน้ำทิ้งจากบ่อบำบัดรวมนิคมอุตสาหกรรมบางกะดี	3-25
ตารางที่ 3.3	ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพน้ำทิ้งนิคมจากบ่อบำบัดรวมนิคมอุตสาหกรรมโรจนะ	3-27
ตารางที่ 3.4	ผลการศึกษาความสามารถผลิตปริมาณกรดแลคติกและ PHB นิคมอุตสาหกรรมไฮเทค	3-30
ตารางที่ 3.5	ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของน้ำทิ้งก่อนการบำบัดของ บริษัท ไทยคูลิโกะ จำกัด	3-33
ตารางที่ 3.6	ผลการศึกษาความสามารถผลิตปริมาณกรดแลคติก และ PHB จาก บริษัท ไทยคูลิโกะ จำกัด	3-34
ตารางที่ 3.7	การศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำทิ้งหน้า บริษัท เอเชียเปเปอร์ทิว จำกัด	3-36
ตารางที่ 3.8	การศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำทิ้งบริษัท อุตสาหกรรมนมไทย จำกัด	3-38
ตารางที่ 3.9	เชื้อจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้จาก บริษัท อุตสาหกรรมนมไทย จำกัด	3-39
ตารางที่ 3.10	เชื้อจุลินทรีย์แกรมบวกที่คัดแยกได้ทั้ง 69 ไอโซเลต จากตัวอย่างน้ำทิ้งทั้ง 6 แหล่ง	3-40

สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวกที่		หน้า
ตารางผนวกที่ 1	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของหินพัมมิชในประเทศไทย	ภ-1
ตารางผนวกที่ 2	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของหินพัมมิชในประเทศไทย(กรมทรัพยากรธรณี)	ภ-1
ตารางผนวกที่ 3	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของหินพัมมิชในประเทศตุรกี	ภ-2
ตารางผนวกที่ 4	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของหินพัมมิชในประเทศตุรกี	ภ-2
ตารางผนวกที่ 5	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของหินพัมมิชในประเทศตุรกี	ภ-3
ตารางผนวกที่ 6	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของหินพัมมิชในประเทศอิตาลี	ภ-3
ตารางผนวกที่ 7	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของหินพัมมิชในประเทศอิตาลี	ภ-4
ตารางผนวกที่ 8	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของหินพัมมิชในทวีปออสเตรเลีย	ภ-4
ตารางผนวกที่ 9	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของหินพัมมิชในประเทศอิหร่าน	ภ-5
ตารางผนวกที่ 10	ปริมาณผลผลิต(ตัน) ของหินพัมมิช และหินภูเขาไฟประเภทอื่นๆ แยกตามประเทศ	ภ-5
ตารางผนวกที่ 11	ปริมาณ และมูลค่าการนำเข้าของหินพัมมิช	ภ-7