การนำกลับโปรตีนจากน้ำเสียของโรงงานผลิตวุ้นเส้นจากถั่วเขียวโดยใช้สารไคโตแซนเป็นสารตกตะกอน

นาย ชาญชัย แสงภักดีจิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-635-375-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17378396

PROTEIN RECOVERY FROM MUNGBEAN VERMICELLI WASTEWATER USING CHITOSAN AS COAGULANT

Mr. Chanchai Sangpakdeejit

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirement
for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-635-375-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำกลับโปรตีนจากน้ำเสียของโรงงานผลิตวุ้นเส้นจากถั่วเขียว โดยใช้สารไคโตแซนเป็นสารตกตะกอน
โดย	นาย ชาญชัย แสงภักดีจิต
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ เ ศรษฐมานิต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ชาญชัย แสงภักดีจิต : การนำกลับไปรตีนจากน้ำเสียของโรงงานผลิตวุ้นเส้นจากถั่วเขียวโดยใช้สารไคโตแซนเป็นสารตกตะกอน (PROTEIN RECOVERY FROM MUNGBEAN VERMICELLI WASTEWATER USING CHITOSAN AS COAGULANT) อ.ปรึกษา : ผศ.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม รศ.วงศ์พันธ์, 152 หน้า. ISBN (974-635-375-6

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนำกลับไปรตีนจากน้ำเสีย โดยการนำไคโตแซนมาทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนท์ด้วยวิธีจาร์เทสต์ น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองได้มาจากกระบวนการผลิตทั้งสองแหล่ง ได้แก่ การล้างแป้งถั่วเหลือง และ การล้างวุ้นเส้น ซึ่งได้นำน้ำเสียจากทั้งสองแหล่งมาปรับเปลี่ยนค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียต่างกัน 6 ค่าคือ 2.5 ,3.0, 3.5, 4.0,4.5 และ 5.0 และใช้ความเข้มข้นของไคโตแซนต่างกัน 12 ค่าคือ 0, 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200, 250, 300, 350, และ 400 มก./ล.

จากการทดลองพบว่า การใช้ไคโตแซนเป็นโคแอกกูแลนท์จะสามารถลดซีโอดี และนำกลับไปรตีนได้ดีในสภาพค่าพีเอช 4.5 โดยเฉพาะในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว เนื่องจากมีความเข้มข้นข้นไปรตีนในน้ำเสียสูง โดยปริมาณไคโตแซนที่เหมาเหมาะสมเท่ากับ 100 มก./ล. และจะมีประสิทธิภาพในการลดทีเคเอ็น ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด ของแข็งคงตัวทั้งหมด และของแข็งระเหยได้ทั้งหมด สูงถึงร้อยละ 90.1,90.7, 87.5,83.3 และ 87.9 ตามลำดับซึ่งที่สภาวะการตกตะกอนดังกล่าวจะมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ1.81 บาทต่อตะกอนไปรตีน 1.0 กิโลกรัม ส่วนในน้ำล้างวุ้นเส้นคือที่พีเอช 4.5 และความเข้มข้นไคโตแซน 150 มก./ล. โดยมีประสิทธิภาพในการลดที่เคเอ็น,ค่าซีโอดี, ของแข็งทั้งหมด, ของแข็งคงตัวทั้งหมด และของแข็งระเหยได้ทั้งหมด ได้ร้อยละ 61.4, 45.5, 33.5, 23.0, และ 36.5 ตามลำดับ และมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับ 24.50 บาทต่อตะกอนไปรตีน 1.0 กิโลกรัม แต่คุณภาพน้ำหลังการตกตะกอนยังไม่ดีพอ โดยในน้ำล้างแป้งถั่วเขียวมี ทีเคเอ็น,ค่าซีโอดี, ของแข็งทั้งหมด,ของแข็งคงตัวทั้งหมด และของแข็งระเหยได้ทั้งหมด คงเหลือเท่ากับ 2761, 34991, 37826, 5274 และ 32552 กม./ล. ส่วนน้ำวุ้นเส้นมีทีเคเอ็น, ซีโอดี, ของแข็งทั้งหมด, ของแข็งคงตัวทั้งหมด, ของแข็งระเหยได้ทั้งหมด คงเหลือเท่ากับ 373, 10198, 25810, 6680 และ 19130 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนการใช้ไคโตแซนร่วมกับแคลเซียมฟอสเฟตพบว่า ปริมาณแคลเซียมฟอสเฟสไม่มีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนไปรตีน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ชาญชัย แสงภักดีจิต.

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

##C617423 :MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: CHITOSAN/COAGULATION/PROTEIN/MUNGBEAN VERMICELLI CHANCHAI SANGPAKDEEJIT : PROTEIN RECOVERY FROM MUMGBEAN VERMICELLI WASTEWATER USING CHITOSAN AS COAGULANT. THESIS ADVISOR:ASSIST.PROF. ORATHAI CHAIVALPARIT,M.S. THESIS COADVISOR:ASSO.PROF. WONGPAN LIMPASANEE, M.Eng. 152 PP. ISBN 974-635-375-6

This research made to study the most suitable conditions in regaining protein from wastewater,by using chitosan to determine its ability of being a coagulant by the jartest method. In this process, the pH of wastewater,sampled from two sources-a wash of green gram flour and of green gram noodles, has been altered to six different levele-2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 and 5.0; and then each has been tested on 12 levels of concentration of chitosan i.e.0, 20, 40, 60,80 100, 150, 200, 300, 350, and 400 mg/l

The research has proved that the use of chitosan as coagulant is well capable of reduction of COD and regaining of protein at pH 4.5, particularly from the wash of green gram flour, as the concentration of the protein is high with an appropriate level of 100 mg/litre of chitosan, TKN; COD; solid substances; constant solid substances and dehydrated substances could be reduced by 90.1, 90.7, 87.5, 83.3 and 87.9 per cent respectively, have chemical cost 1.81 baht per sludge 1.0 kg, compared to those of 61.4, 45.8, 33.5. 23.0 and 36.5 per cent from the wash of green gram noodle under the same pH level but 150 mg/l of chitosan To a certain extent, the quality of water after precipitation is not satisfactory. From the wash of green gram flour, existing amounts of TKN ;COD; solid substances; constant solid substances and dehydrated substances in water are 2761, 34991, 37826, 5274, and 32552 mg/l respectively and 373, 10198, 25810, 6680 and 19130 mg/l have chemical cost 24.50 baht per sludge 1.0 kg from the wash of green gram noodle. Calciumphosphate not have relation to improve sedimentation effciency.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ชาญชัย แสงภักดีจิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์
เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำในเรื่องต่างๆ ทำให้ผู้วิจัยสามารถทำการทดลองนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ เศรษฐมานิต รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ อาจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกๆท่านที่ได้สั่งสอนและมอบความรู้ต่างๆให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกๆท่านของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณเบญจลักษณ์ ตั้งผดุงวงศ์ บ.สิทธินันท์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อข้อมูล ตลอดจนน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณธีรนุช บ.ยูนิคอร์ด จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูล และไคโตแซนที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆ และ น้องๆทุกคนที่ได้ให้กำลังใจและแรงกายช่วยเหลือจนผู้วิจัยสามารถทำการวิจัยได้เสร็จสิ้น

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้จนทำให้สามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณครอบครัวผู้วิจัยที่ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
บทที่ 2 วัตถุประสงค์ และ ขอบเขต 2
2.1 วัตถุประสงค์ 2
2.2 ขอบเขตการวิจัย 2
บทที่ 3 ทบทวนเอกสาร 3
3.1โปรตีน 3
3.1.1 ประเภทของโปรตีน 3
3.1.2 แหล่งของโปรตีนในอาหาร 5
3.1.3 การวิเคราะห์โปรตีน 6
3.2 ถั่วเขียว และ การใช้ประโยชน์จากถั่วเขียว 8
3.3 โปรตีนในน้ำเสีย 9
3.3.1 การละลายของโปรตีน 9
3.3.2 การตกตะกอนของโปรตีน 11
3.3.3 การศึกษาการแยกโปรตีน 12
3.3.4 น้ำเสียจากโรงงานผลิตวุ้นเส้นจากถั่วเขียว 12
3.4 กระบวนการโคแอกกูเลชั่น 16
3.5 ไคตินและไคโตแซน 19
3.5.1 คุณสมบัติของไคตินและไคโตแซน 20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5.2 การผลิตไคตินและไคโตแซนทางเคมี 21
3.5.3 การผลิตไคตินและไคโตแซนทางชีวภาพ 29
3.5.4 การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตแซน 30
3.6 การนำกลับสารประกอบโปรตีนในน้ำทิ้งโดยวิธีการตกตะกอน 33
3.6.1 การปรับพีเอชด้วยกรด 33
3.6.2 การใช้สารตกตะกอน 35
3.6.3 การศึกษาการแยกโปรตีนในน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมในไทย 38
3.7 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการใช้สารไคโตแซนเป็นสารตกตะกอน 39
บทที่4 แผนการดำเนินงานวิจัย 44
4.1 แผนการดำเนินงานวิจัย 44
4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 46
4.3 สารเคมีที่ใช้ 46
4.4 การดำเนินการทดลอง 50
4.4.1 การทดลองหาชนิดและปริมาณโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสมโดย
การทดลองจาร์เทสต์ 50
4.4.2 การเตรียมตะกอนโปรตีน 50
4.4.3 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการตกตะกอนโปรตีน 51
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ 54
5.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย 54
5.1.1 ลักษณะสมบัติของน้ำล้างแป้งถั่วเขียว 54
5.1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำล้างวุ้นเส้น 55
5.2 การศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนโปรตีนและสารอินทรีย์ในน้ำล้าง แป้งถั่วเขียว
5.2.1 ประสิทธิภาพการตกตะกอนโปรตีนในน้ำเสีย 56
5.2.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำเสีย 61
5.2.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมด 65
5.2.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งคงตัวทั้งหมด 69
5.2.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยได้ทั้งหมด 73
5.2.6 สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนโปรตีนในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว 77

5.3 การศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนโปรตีน และสารอินทรีย์ในน้ำล้างวุ้นเส้น 78
5.3.1 ประสิทธิภาพการตกตะกอนโปรตีนในน้ำเสีย 78
5.3.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 83
5.3.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมด 87
5.3.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งคงตัวทั้งหมด 91
5.3.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยได้ทั้งหมด 95
5.3.6 สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนในน้ำล้างวุ้นเส้น 99
5.4 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของตะกอนโปรตีน 100
5.4.1 ตะกอนโปรตีนจากน้ำล้างแป้งถั่วเขียว 100
5.4.2 ตะกอนโปรตีนจากน้ำล้างวุ้นเส้น 100
5.5 วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการใช้สารไคโตแซนเป็นสารตกตะกอนโปรตีน 101
5.5.1 ค่าใช้จ่ายในการใช้สารไคโตแซนเป็นสารตกตะกอนโปรตีนในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว 101
5.5.2 ค่าใช้จ่ายในการใช้สารไคโตแซนเป็นสารตกตะกอนโปรตีนในน้ำล้างวุ้นเส้น 101
5.5.3 ค่าใช้จ่ายในการใช้ไคโตแซนเป็นโคแอกกูแลนท์ร่วมกับแคลเซียมฟอสเฟต 103
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 105
บทที่ 7 ข้อเสนอแนะการวิจัยขั้นต่อไป 106
รายการอ้างอิง 107
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย 114
ภาคผนวก ข. ค่าใช้จ่ายของการใช้ไคโตแซนเป็นสารตกตะกอนโปรตีน 133
ภาคผนวก ค. วิธีการเตรียม และ หาปริมาณโปรตีนนำกลับ 147
ภาคผนวก ง. ตารางแสดงปริมาตรน้ำส่วนบนในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว 148
ประวัติผู้เขียน 152

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3.1	แสดงองค์ประกอบของโปรตีน	7
ตารางที่ 3.2	ร้อยละน้ำหนักแห้งของปริมาณไคติน และ โปรตีนในเปลือกของสัตว์จำพวกปู และ กุ้ง บางชนิด	22
ตารางที่ 3.3	ผลของขนาดเปลือกกุ้งต่อคุณสมบัติของไคโตแซน	26
ตารางที่ 3.4	ประสิทธิภาพในการศึกษาด้วย DAF และตกตะกอนธรรมดา	37
ตารางที่ 3.5	ประสิทธิภาพการบำบัดมลสารในกระบวนการ DAF	38
ตารางที่ 3.6	การใช้ไคโตแซนในการลดของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากการแปรรูปผัก	39
ตารางที่ 5.1	ลักษณะสมบัติของน้ำล้างแป้งถั่วเขียว	54
ตารางที่ 5.2	ลักษณะสมบัติของน้ำล้างวุ้นเส้น	55
ตารางที่ 5.3	แสดงประสิทธิภาพการตกตะกอนโปรตีนที่พีเอชต่างๆ ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว	56
ตารางที่ 5.4	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีที่พีเอชต่างๆ ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว	61
ตารางที่ 5.5	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดที่พีเอชต่างๆ ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว	65
ตารางที่ 5.6	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งคงตัวทั้งหมดที่พีเอชต่างๆ ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว	69
ตารางที่ 5.7	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยได้ทั้งหมด ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว	73
ตารางที่ 5.8	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นในน้ำล้างวุ้นเส้น	78
ตารางที่ 5.9	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีที่พีเอชต่างๆในน้ำล้างวุ้นเส้น	83
ตารางที่ 5.10	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด ในน้ำล้างวุ้นเส้น	87
ตารางที่ 5.11	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งคงตัวทั้งหมด ในน้ำล้างวุ้นเส้น	91
ตารางที่ 5.12	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยได้ทั้งหมดในน้ำล้างวุ้นเส้น	95
ตารางที่ 5.13	ค่าใช้จ่ายของการใช้ไคโตแซนเป็นสารตกตะกอนโปรตีนในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว	102
ตารางที่ 5.14	ค่าใช้จ่ายของการใช้ไคโตแซนเป็นสารตกตะกอนโปรตีนในน้ำล้างวุ้นเส้น	104

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 3.1	การแตกออกเป็นหน่วยที่เล็กลงของโปรตีน	5
รูปที่ 3.2	แสดงผลของพีเอช และความเข้มข้นของเกลือ ต่อการละลายของเบต้าแลคโตกล็อบบิวลิน จำนวน mM เป็นความเข้มข้นของเกลือแกง (NaCL)	9
รูปที่ 3.3	แสดงไดอะไลซิสถุงเซลโลโฟน มีลักษณะเป็นเพอร์มิเอเบิลเมมเบรน สารละลายของโปรตีนอยู่ในถุง ถ้ามีอิออนของเกลือปนอยู่ในสารละลาย อิออนจะลอดผ่านเมมเบรนออกมาสู่น้ำกลั่นภายนอก	10
รูปที่ 3.4	กระบวนการผลิตแป้งถั่วเขียว	14
รูปที่ 3.5	กระบวนการผลิตวุ้นเส้นจากแป้งถั่วเขียว	15
รูปที่ 3.6	พันธะเคมีของไคติน และ ไคโตแซน	20
รูปที่ 3.7	โครงสร้างรงควัตถุในเปลือกของสัตว์จำพวกกุ้ง	23
รูปที่ 3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด และ ระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติล	27
รูปที่ 3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ความเข้มข้นด่าง และระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติล	28
รูปที่ 3.10	สถานีตกตะกอนโปรตีน	37
รูปที่ 4.1	แสดงเครื่องจาร์เทสต์ และ ภาชนะสมานตะกอน	47
รูปที่ 4.2	แสดงภาชนะสมานตะกอนที่ใช้ในการทดลอง	47
รูปที่ 4.3	แผนภูมิแสดงลำดับขั้นการทดลอง	52
รูปที่ 5.1	ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นที่พีเอชต่างๆ	58
รูปที่ 5.2	ปริมาณไนโตรเจนที่เหลือที่พีเอชต่างๆ	58
รูปที่ 5.3	ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นที่พีเอช 4.5	59
รูปที่ 5.4	ปริมาณไนโตรเจนที่เหลือที่พีเอช 4.5	59
รูปที่ 5.5	ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ร่วมกับไคโตแซน ที่พีเอช 4.5	60
รูปที่ 5.6	ปริมาณทีเคเอ็นที่เหลือ โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟตร่วมกับไคโตแซน ที่พีเอช 4.5	60
รูปที่ 5.7	ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์(COD) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว ที่พีเอชต่างๆ	62
รูปที่ 5.8	ปริมาณสารอินทรีย์คงเหลือที่พีเอชต่างๆ	62
รูปที่ 5.9	ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (COD) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียวที่พีเอช 4.5	63
รูปที่ 5.10	สารอินทรีย์คงเหลือที่พีเอช 4.5	63

รูปที่ 5.11	ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์(COD) โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ร่วมกับไคโตแซน ที่พีเอช 4.5	64
รูปที่ 5.12	ปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลือ โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ที่พีเอช 4.5	64
รูปที่ 5.13	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด(TS) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว ที่พีเอชต่างๆ	66
รูปที่ 5.14	ปริมาณของแข็งคงเหลือที่พีเอชต่างๆ	66
รูปที่ 5.15	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด(TS) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว ที่พีเอช 4.5	67
รูปที่ 5.16	ปริมาณของแข็งทั้งหมดคงเหลือ ที่พีเอช4.5	67
รูปที่ 5.17	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด(TS) โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ร่วมกับ ไคโตแซนที่พีเอช 4.5	68
รูปที่ 5.18	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เหลือ โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ที่พีเอช4.5	68
รูปที่ 5.19	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งคงตัวทั้งหมด(TFS) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียวที่พีเอชต่างๆ	70
รูปที่ 5.20	ปริมาณของแข็งคงตัวคงเหลือที่พีเอชต่างๆ	70
รูปที่ 5.21	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งคงตัวทั้งหมด(TFS) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียวที่พีเอช 4.5	71
รูปที่ 5.22	ปริมาณของแข็งคงตัวทั้งหมด(TFS) คงเหลือที่พีเอช 4.5	71
รูปที่ 5.23	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งคงตัวทั้งหมด(TFS) โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ร่วมกับไคโตแซนที่พีเอช 4.5	72
รูปที่ 5.24	ปริมาณของแข็งคงตัวทั้งหมดที่เหลือ โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟตที่พีเอช4.5	72
รูปที่ 5.25	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยได้ทั้งหมด(TVS) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว ที่พีเอชต่างๆ	74
รูปที่ 5.26	ปริมาณของแข็งระเหนได้คงเหลือที่พีเอชต่างๆ	74
รูปที่ 5.27	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยได้ทั้งหมด(TVS) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว ที่พีเอช 4.5	75
รูปที่ 5.28	ปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด(TVS) คงเหลือที่พีเอช 4.5	75
รูปที่ 5.29	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยได้ทั้งหมด(TVS) โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ร่วมกับไคโตแซนที่พีเอช 4.5	76
รูปที่ 5.30	ปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ที่พีเอช 4.5	76
รูปที่ 5.31	ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นที่พีเอชต่างๆ	80

หน้า

รูปที่ 5.32 ปริมาณไนโตรเจนที่เหลือที่พีเอชต่างๆ 80
รูปที่ 5.33 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นที่พีเอช 4.5 81
รูปที่ 5.34 ปริมาณไนโตรเจนที่เหลือที่พีเอช 4.5 81
รูปที่ 5.35 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ร่วมกับไคโตแซน ที่พีเอช 4.5 82
รูปที่ 5.36 ปรีมาณทีเคเอ็นที่เหลือ โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟตร่วมกับไคโตแซน ที่พีเอช 4.5 82
รูปที่ 5.37 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์(COD) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว ที่พีเอชต่างๆ 84
รูปที่ 5.38 ปริมาณสารอินทรีย์คงเหลือที่พีเอชต่างๆ 84
รูปที่ 5.39 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (COD) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียวที่พีเอช 4.5 85
รูปที่ 5.40 สารอินทรีย์คงเหลือที่พีเอช 4.5 85
รูปที่ 5.41 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์(COD) โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ร่วมกับ ไคโตแซน ที่พีเอช 4.5 86
รูปที่ 5.42 ปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลือ โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ที่พีเอช 4.5 86
รูปที่ 5.43 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด(TS) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว ที่พีเอชต่างๆ 88
รูปที่ 5.44 ปริมาณของแข็งคงเหลือที่พีเอชต่างๆ 88
รูปที่ 5.45 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด(TS) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว ที่พีเอช 4.5 89
รูปที่ 5.46 ปริมาณของแข็งทั้งหมดคงเหลือ ที่พีเอช4.5 89
รูปที่ 5.47 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมด(TS) โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ร่วมกับ ไคโตแซนที่พีเอช 4.5 90
รูปที่ 5.48 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เหลือ โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ที่พีเอช4.5 90
รูปที่ 5.49 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งคงตัวทั้งหมด(TFS) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียวที่พีเอชต่างๆ .. 92
รูปที่ 5.50 ปริมาณของแข็งคงตัวคงเหลือที่พีเอชต่างๆ 92
รูปที่ 5.51 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งคงตัวทั้งหมด(TFS) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียวที่พีเอช 4.5 93
รูปที่ 5.52 ปริมาณของแข็งคงตัวทั้งหมด(TFS) คงเหลือที่พีเอช 4.5 93
รูปที่ 5.53 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งคงตัวทั้งหมด(TFS) โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ร่วมกับไคโตแซนที่พีเอช 4.5 94
รูปที่ 5.54 ปริมาณของแข็งคงตัวทั้งหมดที่เหลือ โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟตที่พีเอช4.5 94

รูปที่ 5.55 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยได้ทั้งหมด(TVS) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว ที่พีเอชต่างๆ 96

รูปที่ 5.56 ปริมาณของแข็งระเหนได้คงเหลือที่พีเอชต่างๆ 96

รูปที่ 5.57 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยได้ทั้งหมด(TVS) ในน้ำล้างแป้งถั่วเขียว ที่พีเอช 4.5 97

รูปที่ 5.58 ปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด(TVS) คงเหลือที่พีเอช 4.5 97

รูปที่ 5.59 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยได้ทั้งหมด(TVS) โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ร่วมกับไคโตแซนที่พีเอช 4.5 98

รูปที่ 5.60 ปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด โดยการเติมแคลเซียมฟอสเฟต ที่พีเอช 4.5 98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย