การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากถั่วเหลือง
โดยกรรมวิธีขั้นตะกอนจุลชีพไร้อากาศแบบไหลขึ้น

นาย ณรงค์ จิตต์จรุงเกียรติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2529

ISBN 974-566-478-2

013240

I15552895

RESIDUAL SOY BEAN BIOGAS PRODUCTION BY UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET

Mr. Narong Chitcharoongkiat

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1986

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากถั่วเหลืองโดยกรรมวิธีขั้นตะกอนจุลชีพไร้อากาศแบบไหลขึ้น
โดย	นาย ณรงค์ จิตต์จรุงเกียรติ
ภาควิชา	วิศวกรรมสุขาภิบาล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....

(รองศาสตราจารย์ดร. สรชัย พิศาลบุตร)

รักษาการในตำแหน่งรองคณบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนรักษาการในตำแหน่งคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สุวัลย์ ธรรมิกรักษ์)

.....กรรมการอาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

.....กรรมการ

(นาย บุษยพงศ์ สายะบวร)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากถั่วเหลือง โดยกรรมวิธีขั้นตะกอนจุลชีพไร้อากาศแบบไหลขึ้น

ชื่อ นาย ณรงค์ จิตต์จรุงเกียรติ

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช

ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

ปีการศึกษา 2528

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีกากถั่วเหลือง และผลิตก๊าซชีวภาพจากกากถั่วเหลือง ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำผสมกับน้ำประปา โดยกระบวนการขั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น การทดลองแบ่งออกได้เป็น 3 ชุด ดังนี้คือ การทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 น้ำเสียที่ใช้จะมีปริมาณความเข้มข้นของกากถั่วเหลืองแห้งอยู่ร้อยละ 1, 2 และ 3 ความเข้มข้นของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งใช้เป็นสารปรับเพอร์เท่ากับ 100, 200 และ 300 มก./ล. ของน้ำเสีย ตามลำดับ การทดลองทั้งหมดใช้อัตราการสูบน้ำเสียคงที่เท่ากับ 50 ลิตร/วัน

ผลการทดลองพบว่า การทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 น้ำเสียมีความเข้มข้นของซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ยประมาณ 13,784, 28,898 และ 43,734 มก./ล. คิดเป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.76, 5.83 และ 8.74 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน สามารถกำจัดซีโอดีทั้งหมดได้ร้อยละ 95.0, 75.0 และ 58.4 มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 275.8, 423.4 และ 561.0 ลิตร/วัน และมีก๊าซมีเทนผสมอยู่ร้อยละ 61.8, 56.5 และ 46.7 ตามลำดับ

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม แสดงให้เห็นว่า การนำกากถั่วเหลืองไปใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน มีความเป็นไปได้ และให้อัตราผลตอบแทนคืนทุนค่อนข้างสูง

Thesis Tittle Residual Soy Bean Bio Gas Production by Upflow Anaerobic Sludge Blanket.

Name Mr. Narong Chitcharoongkiat

Thesis Advisor Associate Professor Surapol Saipanich, Ing.

Department Sanitary Engineering

Academic Year 1985

พลตำรวจเอก สมาน วัฒนบำรุง
มหาวิทยาลัย

Abstract

This research was a feasibility study of an upflow anaerobic sludge blanket process to treat organic matter in wastewater which has residual soy beans and to produce biogas from residual soy beans. The experiment was conducted in three sets ; that is, three consecutive experiments in which the residual soy bean concentration in the treated waste-water was 1 %, 2 %, 3 % and the calcium hydroxide concentration was 100, 200 and 300 mg/l, respectively. The wastewater flowrate was 50 l/day in all experiments.

The experimental results from the first, second and third experiments showed that, the average total influent COD concentration was 13784, 28898, 43734 mg/l corresponding to 2.76, 5.83,8.74 kg COD/cu.m.-day organic loading. The total COD removal efficiency was 95.0 %, 75.0 %, 58.4 % and the biogas production was 275.8, 423.4, 561.0 l/day containing 61.8 %, 56.5 %, 46.7 % of methane gas, respectively.

The results from all experiments and from the engineering economy analysis showed that the use of residual soy beans in the production of biogas as an alternative fuel is possible and has a high internal rate of return.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยเป็นอย่างสูง ซึ่งได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางในการวิจัย และช่วยจัดหาอุปกรณ์ในการวิจัยให้ ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงออกมาได้

ขอขอบพระคุณ บริษัท กรีนสปอต (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งได้กรุณาให้ทุนอุดหนุนการวิจัย Mr.C.C. CHEUNG กรรมการผู้จัดการบริษัท ฯ, คุณวิฑูร ยงศ์ธีระพันธ์ ผู้จัดการโรงงาน และ คุณสุพยพงศ์ สายะบวร หัวหน้าฝ่ายควบคุมคุณภาพ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและพนักงานทุกท่านของบริษัท กรีนสปอต (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกในการทดลองนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้อีกส่วนหนึ่ง

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ ธรรมิกรักษ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต กรรมการ, รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา กรรมการ ที่ได้แก้ไขและให้ข้อเสนอแนะวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย . . . . . ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ . . . . . จ

กิตติกรรมประกาศ . . . . . ฉ

สารบัญเรื่อง . . . . . ช

บัญชีรูป . . . . . ญ

บัญชีตาราง . . . . . ฏ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

2. ทฤษฎี และแนวความคิด 3

2.1 ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ 3

2.1.1 ขบวนการไฮโดรไลซิส 4

2.1.2 ขบวนการสร้างกรด 4

2.1.3 ขบวนการสร้างมีเทน 6

2.2 พลังงานจากก๊าซชีวภาพ 10

2.3 กระบวนการยั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น 10

2.3.1 แนวความคิดของกระบวนการ 10

2.3.2 ลักษณะและการทำงานของกระบวนการยั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น 14

บทที่ หน้า

2.4 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการทำงานของกระบวนการยั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลยั้น 16
2.4.1 พารามิเตอร์เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมและความต้องการของจุลินทรีย์ 16
2.4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน 34
2.5 ผลงานวิจัยถังปฏิกริยายั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลยั้นที่ผ่านมา 36
3. แผนการวิจัย 41
3.1 เครื่องมือทดลอง 41
3.2 แผนการทดลอง 45
3.3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ 47
3.4 วิธีการวิเคราะห์ 48
4. การรายงานผลการทดลองและวิจารณ์ 49
4.1 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ 49
4.2 ผลการทดลองและวิจารณ์ 55
4.2.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย 55
4.2.2 สภาพการทำงานของถังปฏิกริยา 56
4.2.3 พีเอช สภาพความเป็นด่างทั้งหมดและกรดโวลาไทล์ . . 56
4.2.4 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 62
4.2.5 การผลิตก๊าซชีวภาพ 67
4.2.6 ตะกอนแขวนลอย 71
4.2.7 การสร้างและสะสมจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยา 75
4.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นกากถั่วเหลืองแห้งที่มีต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ 79

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่		หน้า
5.	ความสำคัญทางวิศวกรรม	86
	5.1 ความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย	86
	5.2 การผลิตก๊าซชีวภาพและการนำไปใช้ประโยชน์	87
	5.3 การลงทุนและผลตอบแทน	88
6.	สรุปผลการทดลอง	89
เอกสารอ้างอิง		91
ภาคผนวก ก.	ข้อมูลของการทดลอง	98
ภาคผนวก ข.	การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	106
ประวัติผู้เขียน		112

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัญชีตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชนิดของ non-methanogenic bacteria ที่พบในถังหมักแบบไร้อากาศ . . .	5
2.2	ชนิดของ methanogenic bacteria ที่เป็นเชื้อพันธุ์บริสุทธิ์	7
2.3	ลักษณะสมบัติของก๊าซมีเทน	11
2.4	ปริมาณของก๊าซชีวภาพที่ต้องการใช้สำหรับจุดประสงค์ต่าง ๆ	12
2.5	การเปรียบเทียบค่าของความร้อนของก๊าซชีวภาพ กับก๊าซเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ. .	13
2.6	ปริมาณร้อยละของธาตุไนโตรเจนและอัตราส่วนปริมาณธาตุคาร์บอนและไนโตรเจน โดยน้ำหนักที่มีอยู่ในสารอาหารชนิดต่าง ๆ	26
2.7	ปริมาณอิออนบวกที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายสาร อินทรีย์แบบไร้อากาศ	28
2.8	ปริมาณอิออนบวกของธาตุซึ่งมีวาเลนซี่เท่ากับสองที่มีผลต่อความสามารถในการตก ตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรียาชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น	29
2.9	ปริมาณของโลหะหนักที่ทำให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศหมด ประสิทธิภาพ	31
2.10	ปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่มีผลต่อกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ. . .	33
3.1	ขนาดและลักษณะทางกายภาพของถังปฏิกรียาที่ใช้ในการทดลอง	45
3.2	แผนการทดลอง	46
3.3	แผนการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำออก	47
4.1	ค่าต่ำสุดและสูงสุดของผลการทดลองในช่วงเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์	54
4.2	ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นซีโอดีทั้งหมดและพีเอชของน้ำเข้า	55
4.3	ค่าเฉลี่ยของพีเอชที่ความสูง 0.30, 1.10 และ 1.90 เมตร จากด้านล่างของถัง ปฏิกรียาและในน้ำออก	57
4.4	ค่าเฉลี่ยของความเป็นด่างทั้งหมดและกรดโวลาไทล์ที่ความสูง 0.30, 1.10 และ 1.90 เมตร จากด้านล่างของถังปฏิกรียาและในน้ำออก	61

ตารางที่ หน้า

4.5 ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในถังปฏิกริยาเมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 . . 76

4.6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลของการทดลอง 85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัญชีรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ขั้นตอน การทำงานของกระบวนการหมักไร้อากาศ	3
2.2	การเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนด้วยปฏิกริยายีวเคมีแบบไร้อากาศ โดยแสดงด้วยค่าซีโอดี	9
2.3	การลอยขึ้นของตะกอนจุลินทรีย์โดยก๊าซที่เกิดขึ้นในชั้นตะกอนล่าง	9
2.4	ลักษณะทั่วไปของถังปฏิกริยาชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น	15
2.5	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อระยะเวลาย่อยสลายสารอินทรีย์	18
2.6	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับระยะเวลาการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยวิธีทางยีววิทยาแบบไร้อากาศ	19
2.7	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในถังหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งย่อยสลายสารอาหารชนิดต่าง ๆ	20
2.8	ผลของการเพิ่ม Ca^{2+} ที่มีต่อความสามารถในการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์และค่าดัชนีของการตกตะกอน	23
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับปริมาณความเข้มข้นของ bicarbonate alkalinity ที่อุณหภูมิ $95^{\circ}F$	24
2.10	ผลของกรดโวลาไทล์ที่มีต่อความสามารถในการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ	30
2.11	ปฏิกริยาการทำลายพิษของโลหะหนักโดยซัลไฟด์ ($S^{=}$) ในสภาวะไร้ออกซิเจนอิสระ	32
3.1	การติดตั้งเครื่องมือทดลอง	42
3.2	รายละเอียดของถังปฏิกริยาแบบชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น . .	43
3.3	เครื่องมือวัดก๊าซ	44

รูปที่		หน้า
4.1	ความเป็นด่างทั้งหมด และกรดโวลาไทล์ในน้ำออกของระยะเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์.	51
4.2	ค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระยะเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์	52
4.3	ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซที่ออกจากถังปฏิกริยา ปริมาณก๊าซมีเทนที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎีและการผลิตก๊าซมีเทนเปรียบเทียบกับทฤษฎีของระยะเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์	53
4.4	พีเอช ความเป็นด่างทั้งหมด และกรดโวลาไทล์ในน้ำออกของการทดลองชุดที่ 1.	58
4.5	พีเอช ความเป็นด่างทั้งหมด และกรดโวลาไทล์ในน้ำออกของการทดลองชุดที่ 2.	59
4.6	พีเอช ความเป็นด่างทั้งหมด และกรดโวลาไทล์ในน้ำออกของการทดลองชุดที่ 3.	60
4.7	ค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองชุดที่ 1	64
4.8	ค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองชุดที่ 2	65
4.9	ค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองชุดที่ 3	66
4.10	ปริมาณก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทนที่ออกจากถังปฏิกริยา ปริมาณก๊าซมีเทนที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎี และการผลิตก๊าซมีเทนเปรียบเทียบกับทฤษฎีของการทดลองชุดที่ 1	68
4.11	ปริมาณก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทนที่ออกจากถังปฏิกริยา ปริมาณก๊าซมีเทนที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎี และการผลิตก๊าซมีเทนเปรียบเทียบทฤษฎีของการทดลองชุดที่ 2	69
4.12	ปริมาณก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทนที่ออกจากถังปฏิกริยา ปริมาณก๊าซมีเทนที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎี และการผลิตก๊าซมีเทนเปรียบเทียบกับทฤษฎีของการทดลองชุดที่ 3	70

รูปที่		หน้า
4.13	ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ออกมากับน้ำออกของการทดลองชุดที่ 1	72
4.14	ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ออกมากับน้ำออกของการทดลองชุดที่ 2	73
4.15	ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ออกมากับน้ำออกของการทดลองชุดที่ 3	74
4.16	ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของถังปฏิกริยา	77
4.17	ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นกากถั่วเหลืองแห้งในน้ำเสียที่มีต่อค่าพีเอช ค่าภาพความเป็นด่างทั้งหมด และกรดโวลาไทล์ในน้ำออก	80
4.18	ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นกากถั่วเหลืองแห้งในน้ำเสียที่มีต่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเข้าและน้ำออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมด	81
4.19	ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นกากถั่วเหลืองแห้งในน้ำเสียที่มีต่อปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ การผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในการทดลองและทฤษฎี การเปรียบเทียบการผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจริงกับทฤษฎี	83
4.20	ผลของการเปลี่ยนแปลงกากถั่วเหลืองแห้งในน้ำเสียที่มีต่อปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ออกมากับน้ำออก	84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย