การผลิตไฮโดรเจนและมีเทนชีวภาพโดยใช้ระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอน

นางสาวภนิตา เกษมโชติช่วง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BIOLOGICAL HYDROGEN AND METHANE PRODUCTION USING TWO-STAGE UASB SYSTEM

Miss Panita Kasamechonchung

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Biotechnology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

491617

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตไฮโดรเจนและมีเทนชีวภาพโดยใช้ระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอน
โดย	นางสาวภนิตา เกษมโชติช่วง
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. นภา ศิวรังสรรค์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ พิสุทธิ์ไพศาล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ อินเจริญศักดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. นภา ศิวรังสรรค์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ พิสุทธิ์ไพศาล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกทิพย์ ภักดีบำรุง)

ภนิตา เกษมโชติช่วง : การผลิตไฮโดรเจนและมีเทนชีวภาพโดยใช้ระบบยูเอเอสบีแบบสองขั้นตอน (BIOLOGICAL HYDROGEN AND METHANE PRODUCTION USING TWO-STAGE UASB SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา: รศ.ดร. นภา ศิวรังสรรค์, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ผศ.ดร. นิพนธ์ พิสุทธิ์ไพศาล, 98 หน้า

ในการวิจัยนี้ ได้พัฒนาศึกษาการผลิตแก๊สไฮโดรเจนและมีเทนแบบสองขั้นตอนโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบ UASB โดยขั้นที่ 1 เป็นการผลิตแก๊สไฮโดรเจน ส่วนขั้นที่ 2 เป็นการผลิตแก๊สมีเทน ซึ่งถังปฏิกริยาที่ใช้ในการผลิตแก๊สไฮโดรเจน และมีเทน มีปริมาตรเท่ากับ 1 และ 1.5 ลิตร ตามลำดับ ภาวะที่ใช้ในการทดลองของขั้นตอนการผลิตแก๊สไฮโดรเจน คือ ค่าพีเอชน้ำเข้าเท่ากับ 5.50 ที่อุณหภูมิห้อง มีการทดลองโดยการแปรผันระยะเวลาการกักเก็บทางชลศาสตร์ (hydraulic retention time, HRT) 2 ค่า คือ 8 และ 6 ชั่วโมง และมีการแปรผันค่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าถังปฏิกริยา (organic loading rate, OLR) 2 ค่า คือ 6.54 ± 0.09, 6.70 ± 0.20 และ 7.70 ± 0.24 กรัมซีโอดีต่อวันต่อลิตรถังปฏิกรณ์ ส่วนขั้นตอนการผลิตแก๊สมีเทนนั้น น้ำที่เข้าถังปฏิกริยาเป็นน้ำที่ออกจากถังผลิตแก๊สไฮโดรเจนนำมาปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 7.0 อุณหภูมิที่ใช้เป็นอุณหภูมิห้อง ระยะเวลาการกักเก็บทางชลศาสตร์กำหนดค่าเดียวตลอดการทดลองคือ 10 ชั่วโมง ส่วนอัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าถังปฏิกริยาแปรผันตรงกับปริมาณ ซีโอดีที่ออกจากถังผลิตแก๊สไฮโดรเจน จากการทดลองพบว่า ที่ HRT 8 ชั่วโมง OLR เท่ากับ 6.54 ± 0.09 กรัมซีโอดีต่อวันต่อลิตรถังปฏิกรณ์ของถังผลิตไฮโดรเจนได้ปริมาตรแก๊สไฮโดรเจน 1,464.47 ± 22.40 มิลลิลิตรต่อวัน (12.48 ± 1.39 มิลลิโมลต่อกรัมซีโอดีที่ใช้ไป) เปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีเท่ากับ 39.69 ± 1.28 เปอร์เซ็นต์ มีกรดอะซิติก โพรไพออนิก และบิวทาริก เท่ากับ 12.97, 3.27 และ 0.81 โมลาร์ตามลำดับ ส่วนถังผลิตแก๊สมีเทน (ถังที่2) ได้ ปริมาตรแก๊สมีเทน 2,371.00 ± 114.55 มิลลิลิตรต่อวัน (87.62 ± 2.34 มิลลิโมลต่อกรัมซีโอดีที่ใช้ไป) เปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีเท่ากับ 87.91 ± 1.65 เปอร์เซ็นต์ ที่ HRT 6 ชั่วโมง. OLR เท่ากับ 7.70 ± 0.24 กรัมซีโอดีต่อวันต่อลิตรถังปฏิกรณ์ของถังผลิตไฮโดรเจน ได้ปริมาตรแก๊สไฮโดรเจน 1,286.76 ± 59.64 มิลลิลิตรต่อวัน (7.38 ± 1.19 มิลลิโมลต่อกรัมซีโอดีที่ใช้ไป) เปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีเท่ากับ 29.30 ± 1.09 เปอร์เซ็นต์ มีกรดอะซิติก โพรไพออนิก และบิวทาริก เท่ากับ 15.91, 3.14 และ 0.06 โมลาร์ตามลำดับ ส่วนถังผลิตแก๊สมีเทนได้ปริมาตรแก๊สมีเทน 2,913.34 ± 97.37 มิลลิลิตรต่อวัน (96.00 ± 4.04 มิลลิโมลต่อกรัมซีโอดีที่ใช้ไป) เปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีเท่ากับ 85.76 ± 1.18 เปอร์เซ็นต์ และที่ HRT 6 ชั่วโมง OLR เท่ากับ 6.70 ± 0.20 กรัมซีโอดีต่อวันต่อลิตรถังปฏิกรณ์ของถังผลิตไฮโดรเจนได้ ปริมาตรแก๊สไฮโดรเจน 1,802.67 ± 68.89 มิลลิลิตรต่อวัน (21.87 ± 1.50 มิลลิโมลต่อกรัมซีโอดีที่ใช้ไป) เปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีเท่ากับ 30.93 ± 0.57 เปอร์เซ็นต์ มีกรดอะซิติก โพรไพออนิก และบิวทาริก เท่ากับ 19.16, 1.51 และ 0.53 โมลาร์ ส่วนถังผลิตแก๊สมีเทนได้ปริมาตรแก๊สมีเทน 2,554.83 ± 98.70 มิลลิลิตรต่อวัน (78.89 ± 4.06 มิลลิโมลต่อกรัมซีโอดีที่ใช้ไป) เปอร์เซ็นต์กำจัดซีโอดีเท่ากับ 88.21 ± 0.52 เปอร์เซ็นต์

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีชีวภาพ.....ลายมือชื่อนิสิต.....ภนิตา เกษมโชติช่วง.....

ปีการศึกษา.....2549.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....นภา ศิวรังสรรค์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4872404623 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORD : HYDROGEN/ METHANE/ HYDRULIC RETENTION TIME/ ORGANIC LOADING RATE/ UASB

PANITA KASAMECHONCHUNG : BIOLOGICAL HYDROGEN AND METHANE PRODUCTION USING TWO-STAGE UASB SYSTEM THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. NAPA SIWARUNGSON, Ph.D.,THESIS COADVISOR : ASSIST. PROF. NIPON PISUTPAISAL, Ph.D., 98 pp.

Hydrogen and methane production using a two stage Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) were investigated in this research. The first and second stages using 1 L and 1.5 L UASB reactors were designed for the hydrogen and methane production, respectively. All experiments were conducted under the room temperature (30±3°C), and fixed influent pHs of 5.5 for the hydrogen production reactor and that of 7.0 for the methane production reactor. In the hydrogen production reactor, the hydrogen production under the varied hydraulic retention times (HRT) of 8 and 6 hours and organic loading rates of 6.54 ± 0.09, 6.70 ± 0.20 and 7.70 ± 0.24 g COD d^{-1} $L^{-1}_{reactor}$ were studied, while HRT in methane production was fixed 10 hours, and the ORL was dependent on the ORL of the effluent of the hydrogen production reactor. At HRT of 8 hours and OLR of 6.54 ± 0.09 g COD d^{-1} $L^{-1}_{reactor}$ the amount of hydrogen produced is 1,464.47 ± 22.40 mL d^{-1} (12.48 ± 1.39 mmole H_2/ g COD) COD removal is 39.69 ± 1.28 %, and the concentrations of acetic acid, propionic acid, and butyric acid accumulated in the reactor are 12.97, 3.27 and 0.81 M, respectively, while the amount of methane produced is 2,371.00 ±114.55 mL d^{-1} (87.62 ± 2.34 mmole CH_4/ g COD) COD removal is 87.91 ± 1.65 %. At HRT of 6 hours and OLR of 7.70 ± 0.24 g COD d^{-1} $L^{-1}_{reactor}$ the amount of hydrogen produced is 1,286.76 ± 59.64 mL d^{-1} (7.38 ± 1.19 mmole H_2/ g COD) COD removal is 29.30 ± 1.09 %, and the concentrations of acetic acid, propionic acid, and butyric acid accumulated in the reactor are 5.91, 3.14 and 0.06 M, respectively, while the amount of methane produced is 2,913.34 ± 97.37 mL d^{-1} (96.00 ± 4.04 mmole CH_4/ g COD) and COD removal is 85.76 ± 1.18 %. At HRT of 6 hours, and OLR of 6.70 ± 0.20 g COD d^{-1} $L^{-1}_{reactor}$ the amount of hydrogen produced is 1,802.67 ± 68.89 mL d^{-1} (21.87 ± 1.50 mmole H_2/ g COD) COD removal is 30.93 ± 0.57 %, and the concentrations of acetic acid, propionic acid, and butyric acid accumulated in the reactor are 19.16, 1.51 and 0.53 M, respectively, while the amount of methane produced is 2,554.83 ± 98.70 mL d^{-1} (78.89 ± 4.06 mmole CH_4/ g COD) and COD removal 88.21 ± 0.52%.

Field of study.....Biotechnogy.....Student's signature.....Panita Kasamechonchung.....

Academic year.....2006.....Advisor's signature.....Napa Siwarungson.....

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นภา ศิวรังสรรค์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ พิสุทธิ์ไพศาล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา คอยให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ผู้เขียนได้ศึกษา และทำงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ อินเจริญศักดิ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกทิพย์ ภักดีบำรุง และอาจารย์ ดร.กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำแก่ผู้เขียน

ขอขอบคุณ ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่และทุนในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ ที่ภาควิชาชีวเคมี และน้องๆ ที่ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในทุกๆ เรื่องเป็นอย่างดีตลอดเวลาที่ได้ทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีแก่ผู้เขียนจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร.....	4
2.1 ประเภทของพลังงาน.....	4
2.2 แก๊สชีวภาพ.....	6
2.3 แก๊สไฮโดรเจน.....	8
2.4.การผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากการบำบัดน้ำเสีย.....	10
2.5 ความหมายของน้ำเสีย และการบำบัด.....	12
2.6 ระบบการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ.....	14
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์.....	22
2.8 ระบบ UASB	27
2.9 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในภาวะไม่ใช้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนโดยระบบ UASB (two-stage anaerobic digestion).....	31

หน้า

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย..... 35

3.1 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี..... 35

3.2 วิธีวิจัย..... 42

3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง..... 44

บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง..... 50

4.1 ค่าพีเอช..... 50

4.2 ปริมาณแก๊ส..... 56

4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ($COD_{removal}$)..... 64

4.4 ปริมาณกรดระเหยง่าย..... 72

4.5 ผลของค่า HRT และ OLR ต่อค่าไฮโดรเจน 77

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... 87

รายการอ้างอิง..... 89

ภาคผนวก..... 94

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 98

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การผลิตแก๊สมีเทนและแก๊สไฮโดรเจนด้วยวิธีทางชีวภาพ.....	7
2.2	อนุกรมวิธานของแบคทีเรียที่ผลิตแก๊สมีเทน	21
2.3	การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบ UASB.....	30
3.1	ส่วนประกอบของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	40
3.2	พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์.....	44
3.3	องค์ประกอบและความเข้มข้นของแก๊สมาตรฐาน.....	47
4.1	ค่าพีเอชของน้ำออกที่ภาวะเสถียรคงตัวของระบบภายใต้ภาวะการทดลองต่างๆ.	51
4.2	ปริมาตรและเปอร์เซ็นต์ของแก๊สไฮโดรเจนที่ภาวะคงตัวของระบบภายใต้ภาวะการทดลองต่างๆ.....	57
4.3	ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ HRT เท่ากับ 8 ชั่วโมง OLR เท่ากับ 6.54 มก.ซีโอดี/วัน/ลิตรถังปฏิกรณ์.....	72
4.4	ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ HRT เท่ากับ 6 ชั่วโมง OLR เท่ากับ 7.70 มก.ซีโอดี/วัน/ลิตรถังปฏิกรณ์.....	73
4.5	ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ HRT เท่ากับ 6 ชั่วโมง OLR เท่ากับ 6.70 มก.ซีโอดี/วัน/ลิตรถังปฏิกรณ์.....	73
4.6	ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่าง HRT, OLR และปริมาตรแก๊สไฮโดรเจน.....	78
4.7	ค่าเฉลี่ยการผลิตแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สมีเทนภายใต้ภาวะการทดลองต่างๆ.....	80
4.8	ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่าง HRT, OLR และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ที่ 1.....	81
4.9	ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่าง HRT, OLR และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ที่ 2.....	83
5.1	สรุปผลการทดลองที่ภาวะต่างๆ.....	88

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ปฏิกิริยาแสดงการหมักแบบไม่ใช้อากาศ.....	2
2.1	กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน.....	15
3.1	ส่วนประกอบถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีถังที่ 1.....	36
3.2	ส่วนประกอบถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีถังที่ 2.....	37
3.3	ถังเตรียมน้ำเสีย.....	38
3.4	จุกยางซิลิโคน พร้อมสายยาง.....	38
3.5	อุปกรณ์วัดปริมาตรแก๊ส.....	39
3.6	เม็ดจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง.....	41
3.7	แผนภาพการเดินระบบ.....	43
3.8	การดูดตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์.....	46
3.9	การแยกแก๊สมาตรฐานโดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี	48
4.1	ค่าพีเอชที่เกิดขึ้นเมื่อเดินระบบถึงวันที่ 275 ของการทดลองถังไฮโดรเจน....	53
4.2	ค่าพีเอชที่เกิดขึ้นเมื่อเดินระบบถึงวันที่ 275 ของการทดลองถังมีเทน.....	55
4.3	ปริมาตรแก๊สที่เกิดขึ้นในถังไฮโดรเจน.....	58
4.4	ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิด.....	61
4.5	เปรียบเทียบระหว่างกรัมซีโอดีที่เข้าสู่ระบบในถังปฏิกรณ์ที่ผลิตแก๊สมีเทน.....	62
4.6	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ที่1.....	65

ภาพที่ **หน้า**

4.7 แผนภาพการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 63

4.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ที่ 2..... 69

4.9 ประสิทธิภาพโดยรวมในการลดค่าซีโอดีของระบบทั้งสองขั้นตอน..... 71

4.10 ปริมาณกรดระเหยง่ายของถังปฏิกรณ์ที่ HRT ต่างกัน..... 74

4.11 ค่าซีโอดีของระบบที่เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 เทียบกับประสิทธิภาพการเกิดแก๊สมีเทน..... 79

4.12 ปริมาณกรดระเหยง่ายที่ค่า HRT ต่างๆ..... 85