การย่อยสลายและการผลิตก๊าซชีวภาพของขยะแบบไร้ออกซิเจนโดยแบคทีเรียชนิดชอบความร้อน

นายศักดิ์ชัย โอภาสวัตชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. ๒๕๒๖

ISBN 974-563-036-5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

013147
i 16207713

ANAEROBIC DIGESTION AND BIO-GAS PRODUCTION OF GARBAGE BY THERMOPHILIC BACTERIA

Mr.Sakchai Opasawatchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1983

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การย่อยสลายและการผลิตก๊าซชีวภาพของขยะแบบไร้ออกซิเจนโดยแบคทีเรียชนิดชอบความร้อน
โดย	นายศักดิ์ชัย โอภาสวัตชัย
ภาควิชา	วิศวกรรมสุขาภิบาล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วีรวรรณ ปัทมาภิรัต)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การย่อยสลายและการผลิตก๊าซชีวภาพของขยะแบบไร้ออกซิเจน โดยแบคทีเรียชนิดชอบความร้อน
ชื่อ	นายศักดิ์ชัย โอภาสวัตชัย
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์
ภาควิชา	วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา	๒๕๒๖

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการกำจัดขยะ (Solid Waste) จำพวกเศษอาหาร (Garbage) เศษพืชผัก จากขยะที่เป็นของเสียจากตลาด โดยวิธีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) เพื่อที่จะให้ได้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือพลังงานทดแทน โดยจะแบ่งงานวิจัยออกเป็น ๒ ส่วนคือ

ในส่วนแรกจะศึกษาถึงผลของระยะเวลาในการหมัก (Retention Time) ต่าง ๆ กันคือ ๑๐, ๑๕ และ ๒๕ วัน ว่าจะมีผลต่อขบวนการย่อยสลายอย่างไร ต่อจากนั้นก็จะนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาทางด้านจลน์ศาสตร์ (Kinetics) ซึ่งจากผลการทดลองปรากฏว่าได้ปริมาตรก๊าซต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ใส่เข้าไป (lgas/gm VS added) อยู่ระหว่าง ๐.๒๕ ถึง ๐.๖๗ ลิตรต่อกรัม และมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนอยู่ประมาณ ๕๑.๕ ถึง ๖๒.๓ เปอร์เซ็นต์โดยที่ระยะเวลาในการหมัก ๒๕ วันจะให้ปริมาณก๊าซต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ใส่เข้าไปสูงที่สุด และมีองค์ประกอบของมีเทนสูงด้วย เมื่อคิดเป็นพลังงานที่ควรจะได้นั้นประมาณ ๒๓ เมกกะจูลน์ต่อลูกบาศก์เมตร (MJ/M^3) สำหรับการทำลายของแข็งทั้งหมด (Total Solid Reduction) อยู่ระหว่าง ๒๒ ถึง ๖๕ เปอร์เซ็นต์ และการทำลายของแข็งระเหยทั้งหมด (Total Volatile Solid Reduction) อยู่ระหว่าง

๓๘ ถึง ๗๙ เปอร์เซ็นต์ ส่วนการศึกษาทางจลน์ศาสตร์ พบว่าระยะเวลาต่ำสุดที่แบคทีเรียจะอยู่ในระบบ (Minimum Solid Detention Time; θ_m) เท่ากับ ๗ วัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลชีพ (Maximum Specific Growth Rate; μ_m) เท่ากับ ๐.๑๔๒๔ และค่าคงที่ K เท่ากับ ๑.๒๔๒ ซึ่งค่าคงที่เหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการควบคุมและออกแบบระบบกำจัดขยะแบบไร้ออกซิเจน

การวิจัยส่วนที่สอง เป็นการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อการย่อยสลาย โดยจะทำการทดลองที่อุณหภูมิ ๓๕° C ๓๘° C ๔๓° C ๔๕° C และ ๕๐° C ตามลำดับ ผลปรากฏว่าที่อุณหภูมิ ๓๕° C และ ๓๘° C ได้ปริมาณก๊าซทั้งหมดต่อวันสูงกว่าที่อุณหภูมิปรกติ (โดยเฉลี่ยประมาณ ๒๗.๖° C) ประมาณ ๖ และ ๑๐ % ตามลำดับ โดยมีองค์ประกอบของมีเทนในปริมาณ ๖๓ % แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมาที่ ๔๓° C และ ๔๕° C ปรากฏว่าปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นต่อวันกลับลดลงต่ำกว่าที่อุณหภูมิปรกติประมาณ ๑๑ และ ๒๘.๕ % โดยมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนอยู่ประมาณ ๕๖ และ ๕๔ % ตามลำดับ ต่อมาเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น ๕๐° C ซึ่งอยู่ในช่วงของ Thermophilic ปริมาณก๊าซทั้งหมดต่อวันกลับเพิ่มมากขึ้น คือสูงกว่าที่อุณหภูมิปรกติประมาณ ๑๓.๗ % โดยมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนอยู่ประมาณ ๖๑ % ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซมีเทนต่อวันที่อุณหภูมิ ๓๘° C และ ๕๐° C ใกล้เคียงกัน

แสดงให้เห็นว่า ในการทดลองนี้ ที่อุณหภูมิ ๓๘° C เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในช่วง Mesophilic และที่อุณหภูมิ ๕๐° C เหมาะสำหรับการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในช่วง Thermophilic

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title	Anaerobic Digestion and Bio-Gas Production of Garbage by Thermophilic Bacteria
Name	Mr. Sakchai Opasawatchai
Thesis Adviser	Assistant Professor Suthirak Sujarittanonta
Deaprtment	Sanitary Engineering
Academic Year	1983

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABSTRACT

The objective of the work is to study the possibility of waste disposal by anaerobic digestion of garbage, vegetable waste from market. By-product from the digestion is biogas which can be used as an energy source.

The study was divided into two parts. The first part was to study an effect of various hydraulic retention times of 10, 15 and 25 days on the performance of anaerobic digestion process. From the experiment, data were analyzed for kinetic parameters. It was found that the total volume of gas yield expressed in litre of gas per gram of volatile solids added were between 0.25 to 0.67 and the composition of methane gas were between 51.5 to 62.3%. With the hydraulic retention time of 25 days, the gas yield was maximum and also the composition of methane gas was high. In this case, when expressed in term of energy, it would be about 23 MJ/M^3. Total solids reduction were between 22 to 65% while in terms of total volatile solid reduction would be 38 to 79%.

The analyses data for kinetic parameters yielded the following results. Minimum solid retention time, θ_m was 7 days, the maximum specific growth rate, μ_m was 0.1427 days and the kinetic constant, K was 1.242. These results can be used for operating as well as design parameters in anaerobic digestion of garbage.

The second part of the study was to investigate the effects of temperature on anaerobic digestion performance. The temperature was varied to achieve 35°C, 38°C, 43°C, 45°C and 50°C operating temperature. At 35°C and 38°C, the total gas yield per day were increased to 6 and 10%, respectively, as compared with the gas yield at ambient temperature.

At these operating temperature, the methane composition were 63%. However,by operating the digester at 43 °C and 45 °C, the total gas yield were decreased to 11 and 28.5% less than those occured at ambient operating temperature, respectively. The methane composition at 43 °C and 45 °C operating temperature was 56 and 54%, respectively, By increasing operating temperature to the thermophilic range of 50 °C, the gas production increase about 13.7% higher than those occur at operating ambient temperature. The methane composition at 50 °C was about 61% in which methane yielded is almost identical to those occurred at 38 °C.

Based upon the results obtained,the 38 °C operating temperature was found to be appropriate for mesophilic bacteria fermentation. However,the appropriate operating temperature for thermophilic bacteria was at 50 °C.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรัณย์ สุจริตกานนท์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งท่านอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ให้กำลังใจทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีและขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการฝ่ายไฟฟ้าและเครื่องกล ท่านผู้อำนวยการกองเครื่องกลที่ได้สนับสนุนให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสศึกษาต่อในครั้งนี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการกองควบคุมคุณภาพน้ำ คุณวีรศักดิ์ สุขพงษ์ คุณวุฒินันท์ สีลมัฐ คุณสมบุญ อินทุราม คุณศิริพร เสียงสนั่น ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำและช่วยเหลือด้วยความเมตตาและขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมฯ ที่ได้กรุณาให้ยืมเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยบางส่วน และบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้เงินทุนในการทำวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบาญ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฌ

สารบาญเรื่อง ..... ญ

สารบาญตาราง ..... ฐ

สารบาญภาพ ..... ฑ

บทที่

๑ บทนำ ๑

๒ วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย ๓

๓ ทฤษฎี ๔

๓.๑ ขบวนการย่อยสลายขยะภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ๔

๓.๒ แฟคเตอร์ที่มีผลต่อเสถียรภาพของระบบ ๑๐

๓.๒.๑ แฟคเตอร์ทางด้านสิ่งแวดล้อม ๑๑

๓.๒.๒ แฟคเตอร์ทางด้านการปฏิบัติงาน ๒๘

๓.๓ องค์ประกอบและปริมาณก๊าซที่ได้ ๓๔

๓.๔ พลังงานจากก๊าซชีวภาพ ๓๗

๓.๕ การศึกษาทางจลนศาสตร์ของการหมักแบบไร้ออกซิเจน ๓๙

๔ การวางแผนการวิจัย ๔๔

๔.๑ แผนการทดลอง ๔๔

๔.๒ วิธีเริ่มการทดลอง ๔๔

๔.๒.๑ การทดลองส่วนที่ ๑ ..... ๔๔

๔.๒.๒ การทดลองส่วนที่ ๒ ..... ๔๗

หน้า

บทที่

๔.๓ สารอาหารและการบ่อนสารอาหาร ๔๘
๔.๔ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ๕๑
๔.๔.๑ ถังหมัก ๕๑
๔.๔.๒ เครื่องตั้งเวลา ๕๔
๔.๔.๓ อุปกรณ์พิเศษสำหรับชุดถังหมักที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง..... ๕๔
๔.๔.๔ ปั๊มสำหรับบ่อนสารอาหาร ๕๕
๔.๔.๕ ปั๊มสำหรับดูดสลัดจ์ ๕๕
๔.๔.๖ เครื่องบดขยะ ๕๕
๔.๔.๗ ก๊าซมิเตอร์ ๕๕
๔.๕ วิธีวิเคราะห์ ๕๘
๔.๕.๑ พีเอช ๕๘
๔.๕.๒ ค่าความเป็นด่างและกรดโวลาไทล์ ๕๘
๔.๕.๓ ค่าของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหย ๕๘
๔.๕.๔ การวิเคราะห์หาค่า ซีโอดี แอมโมเนีย–ไนโตรเจน ๖๐
ทีเคเอ็น ๖๐
๔.๕.๕ การวิเคราะห์หาค่าคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน.. ๖๐
๔.๕.๖ การวิเคราะห์หาค่าความร้อน ๖๐
๔.๕.๗ องค์ประกอบของก๊าซ ๖๐
๕ ผลการทดลอง ๖๓
๕.๑ พีเอช กรดโวลาไทล์ สภาพความเป็นด่างและปริมาณก๊าซ..... ๖๓
๕.๒ ผลของระยะเวลาในการหมักที่มีต่อระบบ ๖๘
๕.๓ ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อระบบ ๗๓
๕.๔ ผลการศึกษาค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์ ๗๘
๕.๕ แบคทีเรียที่พบในถังหมัก ๘๕

หน้า

บทที่

๖ การอภิปรายผลการทดลอง ๘๗
๖.๑ อิทธิพลของระยะเวลาในการหมักต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ..... ๘๗
๖.๒ อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ ๘๘
๖.๓ ข้อดีของการหมักที่อุณหภูมิสูง ๘๙
๗ สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ๙๑
๗.๑ สรุปผล ๙๑
๗.๒ ข้อเสนอแนะ ๙๒
๘ ความสำคัญทางวิศวกรรม ๙๓
เอกสารอ้างอิง ๙๖
ภาคผนวก ๑๐๓
ประวัติ ๑๑๑

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบาญตาราง

หน้า

ตารางที่

๑ องค์ประกอบทางเคมีของ sewage sludge, ขยะ, Manure of lying hens, Beef cattle manure..... ๖

๒ อัตราการไฮโดรไลซิสของเซลลูโลสภายใต้สภาวะการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ๗

๓ แฟคเตอร์ทางด้านสิ่งแวดล้อมและทางด้านการปฏิบัติงาน ๑๐

๔ การทดลองต่าง ๆ เกี่ยวกับผลของอุณหภูมิต่อการเกิดก๊าซ ๒๓

๕ ความเข้มข้นในการกระตุ้นและยับยั้งของอัลคาไลและอัลคาไลเอิรทที่เป็นประจุลบ ๒๖

๖ ปริมาณก๊าซที่ได้ตามทฤษฎีจากองค์ประกอบหลักของพืชและมูลสัตว์..... ๓๕

๗ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายวัสดุจำพวกพืชผัก ๓๖

๘ คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของก๊าซมีเทน ๓๗

๙ องค์ประกอบโดยทั่ว ๆ ไปของขยะในเขตกรุงเทพมหานคร ๔๙

๑๐ คุณลักษณะทางเคมีของขยะบดที่ใช้สำหรับการทดลอง ๕๐

๑๑ คุณลักษณะของสลัดจ์ที่ออกจากระบบที่ระยะเวลาในการหมักต่าง ๆ ๖๗

๑๒ ปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยที่ถูกทำลายไป ๗๒

๑๓ คุณลักษณะของสลัดจ์ที่ออกจากระบบที่อุณหภูมิต่าง ๆ ๗๘

๑๔ ค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์ที่ได้จากการทดลอง ๘๔

๑๕ ผลการตรวจสอบแบคทีเรีย ไวรัสและพาราสิตของสลัดจ์โดย EPA..... ๘๙

๑๖ ปริมาณก๊าซชีวภาพสำหรับใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ๙๓

สารบาญภาพ

ภาพที่		หน้า
๑	การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน.....	๕
๒	ผลของอุณหภูมิและพีเอชต่ออัตราสูงสุดของการใช้เซลลูโลส.....	๘
๓	ความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่าง CO_2, pH และความเป็นด่างของถังหมักไร้ออกซิเจน	๑๓
๔	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความเข้มข้นของไบคาร์บอเนต.....	๑๖
๕	ผลของอุณหภูมิต่อระยะเวลาการย่อยสลาย	๒๐
๖	ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการหมักต่อการเกิดก๊าซจากขยะ%.....	๒๒
๗	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการจ่ายสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของของแข็งและระยะเวลาที่ของเหลวอยู่ในระบบ	๒๙
๘	การเปลี่ยนแปลงของของแข็งระเหยกับระยะเวลาในการหมัก.....	๓๑
๙	แผนการทดลอง	๔๕
๑๐	ถังหมักที่ ๑	๕๒
๑๑	ถังหมักที่ ๒	๕๓
๑๒	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	๕๖
๑๓	การทำงานและการควบคุมระบบการหมักไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง.....	๕๗
๑๔	ก๊าซมิเตอร์	๕๘
๑๕	เครื่องมือวิเคราะห์หาคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน	๖๑
๑๖	เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	๖๑
๑๗	เครื่อง Orsat Gas Analyzer	๖๒
๑๘	การเปลี่ยนแปลงของ พีเอช อัตราการเกิดก๊าซ ความเป็นด่างและกรดโวลาไทล์ที่ HRT ๒๕ วัน.....	๖๔

หน้า

ภาพที่

๑๙ การเปลี่ยนแปลงของพีเอช อัตราการเกิดก๊าซ ความเป็นด่างและกรดโวลาไทล์ที่ HRT ๑๕ วัน ๖๕

๒๐ การเปลี่ยนแปลงของพีเอช อัตราการเกิดก๊าซ ความเป็นด่างและกรดที่ HRT ๑๐ วัน ๖๖

๒๑ การเปลี่ยนแปลงของมีเทนที่เกิดขึ้นกับระยะเวลาในการหมัก..... ๖๙

๒๒ การเปลี่ยนแปลงของแข็งระเหยที่ลดลงกับระยะเวลาในการหมัก..... ๗๐

๒๓ การเปลี่ยนแปลงของกรดโวลาไทล์กับระยะเวลาในการหมัก..... ๗๑

๒๔ การเปลี่ยนแปลงของพีเอช ความเป็นด่าง กรดโวลาไทล์และอัตราการเกิดก๊าซที่อุณหภูมิต่าง ๆ ๗๕

๒๕ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซที่อุณหภูมิต่าง ๆ ๗๗

๒๖ กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B กับ $\frac{1}{HRT}$ ๘๐

๒๗ กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง HRT กับ $\frac{B}{B_o - B}$ ๘๑

๒๘ อัตราการเกิดมีเทนที่ระยะเวลาในการหมักต่าง ๆ กัน ๘๓

๒๙ ภาพแบคทีเรียจากถังหมักที่อุณหภูมิปรกติ (เฉลี่ย ๒๗.๖ °C)..... ๘๕

๓๐ ภาพแบคทีเรียจากถังหมักที่อุณหภูมิสูง (๕๐ °C) ๘๖

๓๑ การกำจัดขยะโดยขบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน..... ๙๕

๓๒ รายละเอียดของก๊าซมิเตอร์ ๑๐๔

๓๓ การทำงานและการวัดปริมาตรของก๊าซมิเตอร์ ๑๐๖

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย