

การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย ภาคอุตสาหกรรม

**ธัชกร ผลพันธ์^{1,*}, วลัยรัตน์ อุตตมะปรากฏ² และ
ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ³**

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

²สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

³ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*Email: t.bosschan@hotmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรม 5 ประเภท ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมประเภทแป้ง โรงงานอุตสาหกรรมประเภทน้ำมันปาล์ม โรงงานอุตสาหกรรมประเภทเอทานอล โรงงานอุตสาหกรรมประเภทแปรรูปอาหาร และอุตสาหกรรมประเภทแปรรูปยาง รวมถึงการคัดเลือกเทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมในแต่ละประเภทน้ำเสียอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ การเก็บรวบรวมข้อมูลลักษณะน้ำเสีย ต่อมาคือการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและการคัดเลือกเทคโนโลยี ส่วนสุดท้ายคือการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อผลการตัดสินใจลงทุนสำหรับผู้ประกอบการ รวมถึงการวิเคราะห์ปัญหาและอุปสรรคในการส่งเสริมเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพพร้อมเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้น สำหรับศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นเพียงภาพรวมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม โดยยึดประเภทและจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำการขึ้นทะเบียนโดยตรงกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมโดยรวมที่มากที่สุด คือ อุตสาหกรรมประเภทเอทานอล โดยมีศักยภาพที่ 1,005.65 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี รองลงไปที่ อุตสาหกรรมประเภทผลิตแป้งมันสำปะหลังมีศักยภาพที่ 416.54 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี อุตสาหกรรมประเภทน้ำมันปาล์มมีศักยภาพที่ 156.04 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี อุตสาหกรรมประเภทแปรรูปอาหาร มีศักยภาพที่ 60.10 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และอุตสาหกรรมประเภทยางมีศักยภาพที่ 18.05 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ตามลำดับ จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า น้ำเสียอุตสาหกรรมทั้ง 5 ประเภท มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่ดี รวมถึงเทคโนโลยีในการผลิตก๊าซชีวภาพหรือเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นสูงในค่า ซีโอดี และบีโอดี เพื่อลดค่าใช้จ่ายภายในโรงงานและช่วยรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม

คำสืบค้น

ศักยภาพ น้ำเสียอุตสาหกรรม ก๊าซชีวภาพ การบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจน

A STUDY OF BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL FROM INDUSTRIAL WASTEWATER

Thuchkorn Phonphunthin^{1,}, Walairat Uttamaprakrom² and Prasert Reubroycharoen³*

¹*Inter-Department of Energy Technology and Management Graduate School, Chulalongkorn University*

²*Energy research institute Chulalongkorn University*

³*Department of Chemical Technic, Faculty of Science, Chulalongkorn University*

**Email: t.bosschan@hotmail.com*

ABSTRACT

This research aims to study the potential and appropriate technology for wastewater to produce biogas from industrial wastewater such as cassava starch industry, palm oil mill industry, ethanol industry, food industry and rubber industry.

This study was included

- 1) Documentation review about technology and wastewater characteristic.
- 2) Secondary data for biogas technology promotion program in Thailand.
- 3) Comparison of the appropriate technology for biogas production from each technology for biogas production from each industrial and economic analysis for wastewater treatment and biogas production investment cost for each industrial.

The result shows that the highest potential is the ethanol Industry. The second is cassava starch industry and the palm oil mill industry food industry and rubber industry respectively while the wastewater of 5 industries has the high potential of biogas production and the anaerobic technology is suitable for the wastewater which has the high concentration of COD and BOD. Biogas which is the technology that can be conserved the environment and give more benefit for the owner.

KEYWORDS

Potential Wastewater Biogas Anaerobic Treatment

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทยยังคงมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเพิ่มขึ้นจากปี 2553 ร้อยละ 3.47 หรืออยู่ที่ระดับ 1,845 เทียบเท่าพันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน คิดเป็นมูลค่า 138,807 ล้านบาท ซึ่งการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ ประกอบด้วยน้ำมันสำเร็จรูป ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และไฟฟ้า เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.7 โดยก๊าซธรรมชาติมีส่วนการใช้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 44 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.3 การใช้น้ำมันมีสัดส่วนรองลงมาที่ร้อยละ 37 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.3 ขณะที่ถ่านหินมีปริมาณการนำเข้าที่ลดน้อยลงร้อยละ 3.4 สำหรับปริมาณลิกไนต์และไฟฟ้าพลังน้ำมีการนำเข้าเพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 3.8 และ 48.5 ตามลำดับ ในปีพ.ศ.2554 มีมูลค่าการนำเข้าพลังงานรวมถึง 1,237,336 ล้านบาท ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2553 ที่ระดับ 950,300 ล้านบาท หรือคิดเป็นมูลค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 30.2 (กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) หากแนวโน้มความต้องการใช้พลังงานมากขึ้นจะเป็นภาระต่อการจัดหาของประเทศ จึงจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานอื่นเพื่อมาทดแทน

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปทางการเกษตร แปรรูปอาหาร และเครื่องดื่มเป็นแหล่งพลังงานทดแทนอีกทางเลือกหนึ่งที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ โดยผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนซึ่งเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่ง โดยค่าเฉลี่ย BOD ของแต่ละอุตสาหกรรม โรงงานน้ำมันปาล์ม 10,000-47,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง 1,500-15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554) ซึ่งส่งผลต่อสภาพสิ่งแวดล้อมหากขาดการบริหารจัดการที่ดี

ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียสามารถลดขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย ค่าใช้จ่าย และพื้นที่ในการบำบัดน้ำเสียลงได้ เช่น โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท วีพี สตาร์ช จังหวัดนครราชสีมา กำลังการผลิต 3,000 ตันต่อวัน นำเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบ Up flow Anaerobic Sludge Blanket :UASB ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ถึง 80% ทำให้หมดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นลงได้ โดยน้ำเสียจากกระบวนการผลิต 1,550 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 23,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเตาในกระบวนการอบแห้งแป้งได้ 116,000 บาทต่อวัน และสามารถคืนทุนได้ภายใน 2 ปี ในขณะที่โรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) ใช้ระบบก๊าซชีวภาพแบบ continuous stirred-tank reactor :CSRT ซึ่งรองรับปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ 700 ลูกบาศก์เมตร/วัน และน้ำเสียจากการผลิตน้ำมันปาล์ม 300 ลูกบาศก์เมตร/วัน ซึ่งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 21,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน โดยนำไปผลิตไฟฟ้าใช้ทดแทนพลังงานชีวมวลได้ประมาณวันละ 160,000 บาท

ดังนั้นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการผลิตพลังงานทดแทนที่สามารถนำมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพได้ โดยพบว่าศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานแป้งมันสำปะหลัง 40,943,400 ลูกบาศก์เมตร/ปี โรงงานเอทานอล 17,400,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี โรงงานน้ำมันปาล์ม 2,501,361 ลูกบาศก์เมตร/ปี โรงงานอาหารกระป๋อง 41,466,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี โรงงานสุรา 908,700 ลูกบาศก์เมตร/ปี โรงฆ่าสัตว์ 2,289,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี โรงงานน้ำยางข้น 4,329,030 ลูกบาศก์เมตร/ปี (กระทรวงพลังงาน, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2550) โดยการนำน้ำเสียจากอุตสาหกรรมต่างๆมาผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะช่วยลดภาระการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศและสามารถจัดการกับของเสียให้เกิดประโยชน์และเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัสดุ อุปกรณ์ และขั้นตอนในการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

2.1.1. ศึกษาข้อมูลโดยทั่วไปเกี่ยวกับการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ระบบผลิตแก๊สชีวภาพ เทคโนโลยี และคุณลักษณะของน้ำเสีย

2.1.2. ศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ

2.1.3. ศึกษาลักษณะและปริมาณน้ำเสียของแต่ละอุตสาหกรรม จากโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2554

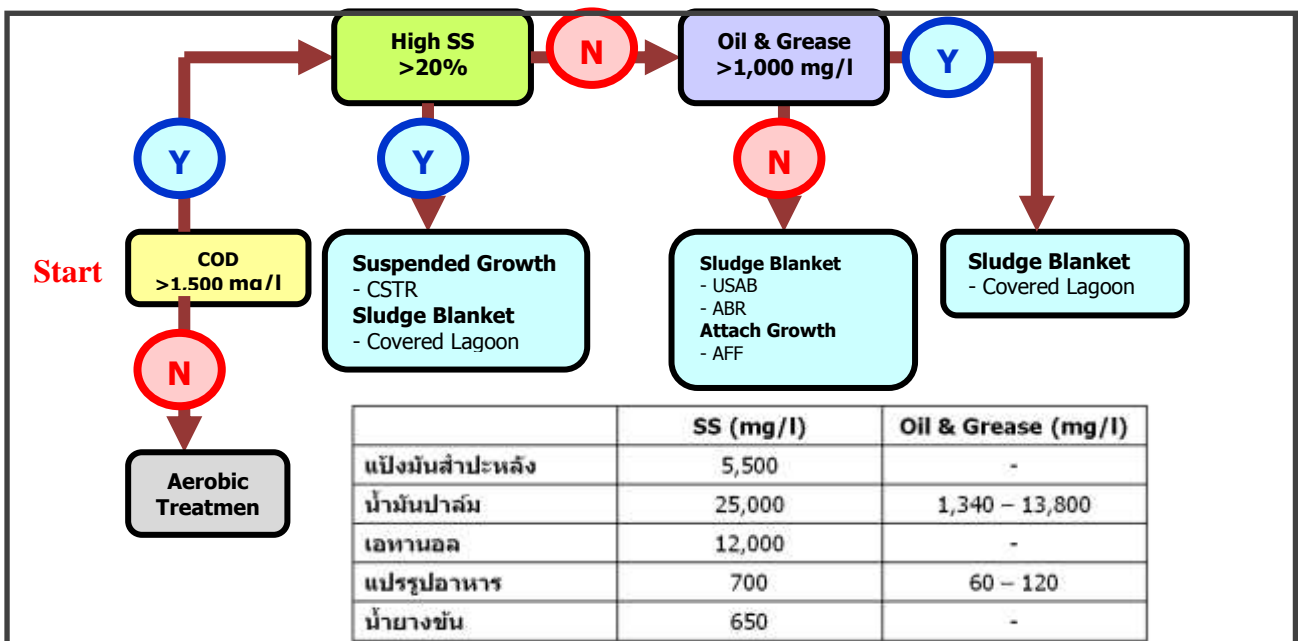
2.1.4. ศึกษาเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโดยระบบไร้ออกซิเจนที่ใช้ในประเทศไทย และวิเคราะห์ความเหมาะสมการใช้เทคโนโลยีการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรม

2.1.5. วิเคราะห์ปริมาณและอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละอุตสาหกรรมโดยเปรียบเทียบเชิงเทคโนโลยีและความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละเทคโนโลยีในแต่ละประเภทอุตสาหกรรมเพื่อประเมินการผลิตก๊าซชีวภาพในภาพรวมจากการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมในประเทศไทยในการใช้เป็นพลังงานทดแทน

3. ผลการทดลอง

3.1 การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับน้ำเสียแต่ละประเภทอุตสาหกรรม

1. หลักเกณฑ์เบื้องต้นที่ควรพิจารณาเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ
 - 1.1 การทำงานของระบบ (Process Applicability) การประเมินประสิทธิภาพหรือผลการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย
 - 1.2 ปริมาณและอัตราการไหลของน้ำเสีย (Flow Rate) ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่ออัตราการไหลของน้ำเสียที่คงที่ ถ้าหากอัตราการไหลมีปริมาณที่ไม่คงที่หรือแตกต่างกันมากจำเป็นต้องมีบ่อปรับเสรม (Equalization Tank)
 - 1.3 ลักษณะของน้ำเสีย (Wastewater Characteristic) โดยลักษณะของน้ำเสียแต่ละประเภทจะมีผลกระทบต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียได้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเครื่องมือ อุปกรณ์ และการดำเนินระบบ
 - 1.4 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย และสมรรถภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย
 - 1.5 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและค่าบำรุงรักษา
 - 1.6 พื้นที่ หรือ ที่ดิน สำหรับการสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย และพื้นที่ว่างสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียเพิ่มเติมในอนาคต



รูปที่ 1 เกณฑ์การตัดสินใจเบื้องต้นในการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรม

จากรูปที่ 1 เป็นหลักเกณฑ์เบื้องต้นที่ใช้ในการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมโดยประเมินจากลักษณะเบื้องต้นของลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยสัญลักษณ์ Y หมายถึง ใช่ N หมายถึง ไม่ใช่ สำหรับการเลือกใช้เทคโนโลยีให้เหมาะสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรมพบว่า

- ระบบก๊าซชีวภาพเพื่อใช้สำหรับทดแทนพลังงานปริมาณซีโอดีต่ำกว่า 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนอาจมีปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อการทดแทน (Leal, และคณะ, 2006)
- ปริมาณลักษณะของแข็งในน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ โดยปริมาณมากกว่า 20% จะถือว่าปริมาณของแข็งสูง (US Environmental Protection Agency, 2004)
- ปริมาณของไขมันในน้ำเสีย หรือปริมาณ FOG เป็นหนึ่งในเกณฑ์การพิจารณาของการเลือกใช้เทคโนโลยีระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีปริมาณไขมันที่สูงกว่า 1,000 มิลลิกรัม/ลิตรจะไม่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Anaerobic Sludge Blanket Process และ Anaerobic Attached Growth Process (Leal, และคณะ, 2006) แต่เนื่องจากระบบ Anaerobic Covered Lagoon นั้นเป็นเทคโนโลยีที่สามารถรองรับปริมาณน้ำเสีย ปริมาณเข้มข้นซีโอดี บีโอดี และสารพิษได้ในปริมาณสูงจึงสามารถใช้ได้กับทุกลักษณะของน้ำเสียอุตสาหกรรม

จากเกณฑ์เบื้องต้นนี้สามารถตัดสินใจเบื้องต้นในการเลือกใช้เทคโนโลยีสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในทุกประเภทอุตสาหกรรม เพื่อนำไปวิเคราะห์พื้นที่บริเวณในการวางระบบเทคโนโลยีและการออกแบบเบื้องต้นได้อย่างเหมาะสม หากมีพื้นที่มากจะสามารถใช้เทคโนโลยีที่ไม่มีความซับซ้อนเช่น ABR และ Anaerobic Covered Lagoon ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบและค่าบำรุงรักษาได้ แต่ถ้าหากพื้นที่ในการวางระบบมีบริเวณจำกัดจะต้องจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนค่อนข้างสูงได้แก่ UASB CSTR และ AFF ซึ่งก็จะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการออกแบบระบบที่ค่อนข้างสูงและความซับซ้อนของระบบจึงทำให้การดูแลรักษาเป็นไปได้ยากมีค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเพิ่มสูงขึ้น

3.2 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมในประเทศไทย

ตารางที่ 1 หมวดหมู่การแบ่งประเภทโรงงานอุตสาหกรรม

โรงงานอุตสาหกรรมที่ทำการวิจัย	หมวดใหญ่	หมวดย่อย
ผลิตแป้งมันสำปะหลัง	D	1531 การผลิตผลิตภัณฑ์จากธัญพืช
สกัดน้ำมันพืชหรือทำให้บริสุทธิ์	D	1514 การผลิตน้ำมันพืช น้ำมันและไขมันจากสัตว์
เอทานอล	D	1551 การต้มการกลั่น และการผสมสุรา การผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ ที่ได้จากการหมัก
แปรรูปอาหาร	D	1511 การผลิต การแปรรูปและการเก็บถนอมเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ 1512 การแปรรูปและการเก็บถนอมสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ 1513 การแปรรูปและการเก็บถนอมผลไม้และผัก
น้ำยางข้น	D	2519 การผลิตผลิตภัณฑ์ยางอื่นๆ

(ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)

3.2.1 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง

อุตสาหกรรมผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของไทย โดยในปี พ.ศ. 2554 และ พ.ศ. 2555 มีปริมาณการส่งออก 6.44 ล้านตัน และ 7.45 ล้านตันตามลำดับ จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์ในประเทศไทยทั้งหมดคือ 116 โรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556)

การประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์คำนวณจากสถิติปริมาณการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์ในปี 2555 (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2556) และการศึกษาวิจัยข้อมูลจากจำนวนโรงงานผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์ทั้งหมด 35 โรงงานที่ผลิตก๊าซชีวภาพ (โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) สามารถสรุปได้ดังนี้

- ปริมาณการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์ในประเทศไทยปี 2555 เท่ากับ 3,546,540 ตัน
 - โดยคำนวณจากปริมาณหัวมันสดที่ผลิตได้ในปี 2555 คือ 27,547,242 ตัน (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำหรับเครื่องยนต์แห่งประเทศไทย คณะสำรวจมันสำหรับเครื่องยนต์ ฤดูการผลิตปี 2555)
 - ปริมาณการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์คิดเป็นหัวมันสดร้อยละ 26.78 สำหรับใช้ในประเทศ และร้อยละ 31.74 สำหรับการส่งออก (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2556)
 - ในการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์จะได้แบริ่งน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์คิดเป็นร้อยละ 20-22 ของปริมาณหัวมันสด (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2555)
- การผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์จำนวน 1 ตัน เกิดปริมาณน้ำเสีย 15 ลูกบาศก์เมตร (โครงการ ส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)
- ปริมาณน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 7.83 ลูกบาศก์เมตร (โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)

ศักยภาพการผลิตต่อปี

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์ใน 1 ปีสามารถคำนวณได้ดังนี้

- การผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์ 3,546,540 ตัน เกิดน้ำเสียปริมาณ 53,198,100 ลูกบาศก์เมตร
- น้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 7.83 ลูกบาศก์เมตร
- น้ำเสีย 53,198,100 ลูกบาศก์เมตร ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 416.54 ล้านลูกบาศก์เมตร

ปริมาณศักยภาพคงเหลือเบื้องต้น

จากจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่เข้าร่วมโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งหมด 35 โรงงาน เพราะฉะนั้น

- โรงงานแบริ่งน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์ 116 โรงงาน มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 416.54 ล้านลูกบาศก์เมตร
- โรงงานที่เข้าร่วมโครงการ 35 โรงงาน มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 262.67 ล้านลูกบาศก์เมตร
- จำนวนโรงงานคงเหลือ 81 โรงงาน มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 153.87 ล้านลูกบาศก์เมตร

3.2.2 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม

จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันพืชหรือผลิตมันพืชให้บริสุทธิ์ ได้แก่ น้ำมันปาล์ม ในประเทศไทยทั้งหมดคือ 160 โรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556)

โดยโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลจำนวน 160 โรงงาน ที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียสามารถคิดเป็นปริมาณศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยคำนวณจากปริมาณการผลิต (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2556)

และการศึกษาวิจัยข้อมูลจากจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มทั้งหมด 40 โรงงานที่ได้ผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นจริง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ปริมาณการสกัดน้ำมันปาล์มเท่ากับ 1,783,490 ตันน้ำมันต่อปี (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2556)
- ปริมาณการสกัดน้ำมันปาล์ม 1 ตันน้ำมัน ต้องใช้ผลปาล์มสดปริมาณ 6.5 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร, 2552)
- การสกัดน้ำมันปาล์มด้วยผลปาล์มสด 1 ตัน เกิดปริมาณน้ำเสีย 0.5 ลูกบาศก์เมตร (โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)
- ปริมาณน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 26.92 ลูกบาศก์เมตร

ศักยภาพการผลิตต่อปี

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทสกัดน้ำมันปาล์มใน 1 ปีสามารถคำนวณได้ดังนี้

- การสกัดน้ำมันปาล์ม 1,783,490 ตันน้ำมันต้องใช้ผลปาล์มสด 11,592,685 ตันFFB
- การสกัดผลปาล์มสด 11,592,685 ตันFFB เกิดน้ำเสียปริมาณ 5,796,342.50 ลูกบาศก์เมตร
- น้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 26.92 ลูกบาศก์เมตร
- น้ำเสีย 5,796,342.50 ลูกบาศก์เมตร ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 156.04 ล้านลูกบาศก์เมตร

ปริมาณศักยภาพคงเหลือเบื้องต้น

จากจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่เข้าร่วมโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งหมด 40 โรงงาน เพราะฉะนั้น

- โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 160 โรงงาน มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 156.04 ล้านลูกบาศก์เมตร
- โรงงานที่เข้าร่วมโครงการ 40 โรงงาน มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 71.03 ล้านลูกบาศก์เมตร
- จำนวนโรงงานคงเหลือ 120 โรงงาน มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 85.01 ล้านลูกบาศก์เมตร

3.3.3 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล

จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลในประเทศไทยทั้งหมดคือ 38 โรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556)

โดยโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลจำนวน 38 โรงงาน ที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียสามารถคิดเป็นปริมาณศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยคำนวณจากปริมาณการผลิต (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556) และการศึกษาวิจัยข้อมูลจากจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลทั้งหมด 18 โรงงานที่ได้ผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นจริง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ปริมาณการผลิตเอทานอลเท่ากับ 342,525,000 ลิตรต่อปี (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556)
- การผลิตเอทานอล 1 ลิตร เกิดปริมาณน้ำเสีย 0.01 ลูกบาศก์เมตร (โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)
- ปริมาณน้ำเสียโรงงานผลิตเอทานอล 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 29.36 ลูกบาศก์เมตร

ศักยภาพการผลิตต่อปี

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทเอทานอลใน 1 ปีสามารถคำนวณได้ดังนี้

- การผลิตเอทานอล 3,425,250,000 ลิตร เกิดน้ำเสียปริมาณ 34,252,500 ลูกบาศก์เมตร

- ปริมาณน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหาร 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 1.82 ลูกบาศก์เมตร

ศักยภาพการผลิตต่อปี

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทแปรรูปอาหารใน 1 ปีสามารถคำนวณได้ดังนี้

- การผลิตแปรรูปอาหาร 2,751,460 ตัน เกิดน้ำเสียปริมาณ 33,017,520 ลูกบาศก์เมตร
- น้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 1.82 ลูกบาศก์เมตร
- น้ำเสีย 33,017,520 ลูกบาศก์เมตร ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 60.10 ล้านลูกบาศก์เมตร

ปริมาณศักยภาพคงเหลือเบื้องต้น

จากจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่เข้าร่วมโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งหมด 26 โรงงาน เพราะฉะนั้น

- โรงงานผลิตเอทานอล 149 โรงงาน มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 60.10 ล้านลูกบาศก์เมตร
- โรงงานที่เข้าร่วมโครงการ 26 โรงงาน มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 24.27 ล้านลูกบาศก์เมตร
- จำนวนโรงงานคงเหลือ 123 โรงงาน มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 35.83 ล้านลูกบาศก์เมตร

3.3.5 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมแปรรูปยาง

จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางชั้นในประเทศไทยทั้งหมดคือ 107 โรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556)

โดยโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางชั้นจำนวน 107 โรงงาน ที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียสามารถคิดเป็นปริมาณศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยคำนวณจากปริมาณการผลิต (สถาบันวิจัยยาง, 2555) และ การศึกษาวิจัยข้อมูลจากจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปยางทั้งหมด 7 โรงงานที่ได้ผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นจริง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ปริมาณการผลิตน้ำยางชั้นเท่ากับ 676,026 ตันต่อปี (สถาบันวิจัยยาง, 2555)
- การผลิตน้ำยางชั้น 1 ตัน เกิดปริมาณน้ำเสีย 10 ลูกบาศก์เมตร (โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)
- ปริมาณน้ำเสียโรงงานแปรรูปยาง 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 2.67 ลูกบาศก์เมตร

ศักยภาพการผลิตต่อปี

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทน้ำยางชั้นใน 1 ปีสามารถคำนวณได้ดังนี้

- การผลิตน้ำยางชั้น 676,026 ตัน เกิดน้ำเสียปริมาณ 6,760,260 ลูกบาศก์เมตร
- น้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 2.67 ลูกบาศก์เมตร
- น้ำเสีย 6,760,260 ลูกบาศก์เมตร ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 18.05 ล้านลูกบาศก์เมตร

ปริมาณศักยภาพคงเหลือเบื้องต้น

จากจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่เข้าร่วมโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งหมด 7 โรงงาน เพราะฉะนั้น

- โรงงานผลิตน้ำยางชั้น 107 โรงงาน มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 18.05 ล้านลูกบาศก์เมตร
- โรงงานที่เข้าร่วมโครงการ 7 โรงงาน มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 2.07 ล้านลูกบาศก์เมตร
- จำนวนโรงงานคงเหลือ 100 โรงงาน มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 15.98 ล้านลูกบาศก์เมตร

ก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมทั้ง 5 ประเภท สามารถทดแทนพลังงานอื่น ๆ โดย

- ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนน้ำมันเตาเกรดเอได้ 0.55 ลิตร
- ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนก๊าซหุงต้มได้ 0.46 กิโลกรัม

- ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้ 1.20 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ตารางที่ 2 ปริมาณการทดแทนน้ำมันเตาจากการประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรม

ประเภทอุตสาหกรรม	ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมด (ล้าน ลบ.ม.)	ทดแทนน้ำมันเตา (ล้านลิตร)	ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพคงเหลือเบื้องต้น (ล้าน ลบ.ม.)	ทดแทนน้ำมันเตา (ล้านลิตร)
แป้งมันสำปะหลัง	416.54	229.10	153.87	84.63
สกัดน้ำมันปาล์ม	156.04	85.82	85.01	46.76
เอทานอล	1,005.65	553.11	769.16	423.04
แปรรูปอาหาร	60.10	33.06	35.83	19.70
แปรรูปยาง	18.05	9.93	15.98	8.79

ตารางที่ 3 ปริมาณการทดแทนก๊าซหุงต้มจากการประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรม

ประเภทอุตสาหกรรม	ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมด (ล้าน ลบ.ม.)	ทดแทนก๊าซหุงต้ม (ล้าน กก.)	ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพคงเหลือเบื้องต้น (ล้าน ลบ.ม.)	ทดแทนก๊าซหุงต้ม (ล้าน กก.)
แป้งมันสำปะหลัง	416.54	191.60	153.87	70.78
สกัดน้ำมันปาล์ม	156.04	71.78	85.01	39.10
เอทานอล	1,005.65	462.60	769.16	353.81
แปรรูปอาหาร	60.10	27.65	35.83	16.48
แปรรูปยาง	18.05	8.30	15.98	7.35

ตารางที่ 4 ปริมาณการทดแทนพลังงานไฟฟ้าจากการประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรม

ประเภทอุตสาหกรรม	ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมด (ล้าน ลบ.ม.)	ทดแทนไฟฟ้า (ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง)	ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพคงเหลือเบื้องต้น (ล้าน ลบ.ม.)	ทดแทนไฟฟ้า (ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง)
แป้งมันสำปะหลัง	416.54	499.85	153.87	184.65
สกัดน้ำมันปาล์ม	156.04	187.25	85.01	102.01
เอทานอล	1,005.65	1,206.78	769.16	922.99
แปรรูปอาหาร	60.10	72.12	35.83	43.00
แปรรูปยาง	18.05	21.66	15.98	19.18

4. อภิปรายและสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาศักยภาพโดยรวมของการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทแป้งอุตสาหกรรมประเภทน้ำมัน อุตสาหกรรมประเภทเอทานอล อุตสาหกรรมประเภทแปรรูปอาหาร และอุตสาหกรรมแปรรูปยาง ทำให้ทราบถึงภาพรวมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมทั่วประเทศ สอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี ที่มุ่งหวังว่าจะให้ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทนเป็นร้อยละ 20 ภายใน 2565 จากการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่ ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมโดยรวมที่มากที่สุด คือ อุตสาหกรรมประเภทเอทานอล โดยมีศักยภาพที่ 1,005.65 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี รองลงไปคือ อุตสาหกรรมประเภทผลิตแป้งมันสำปะหลังมีศักยภาพที่ 416.54 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี อุตสาหกรรมประเภทน้ำมันปาล์มมีศักยภาพที่ 156.04 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี อุตสาหกรรมประเภทแปรรูปอาหาร มีศักยภาพที่ 60.10 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และอุตสาหกรรมประเภทยางมีศักยภาพที่ 18.05 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปีตามลำดับ จะเห็นได้ว่าโรงงานผลิตเอทานอลแม้จะมีจำนวนไม่มากแต่น้ำเสียมีปริมาณค่าซีไอดีและบีไอดีที่สูงมากทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพนั้นได้ปริมาณที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากปริมาณซีไอดีนั้นส่งผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยตรง สำหรับเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพในประเทศไทยนั้นได้มีการใช้งานมาค่อนข้างนาน แต่เมื่อพิจารณาถึงจำนวนผู้ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในอุตสาหกรรมประเภทใหญ่ๆ มีจำนวนที่น้อยมาก สังเกตได้จากจำนวนของผู้เข้าร่วมโครงการการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมจะเห็นได้ว่ามีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมดที่ขึ้นทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม จากข้อจำกัดของนโยบายทางด้านพลังงานทดแทน กฎหมายระเบียบทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้ผู้ประกอบการขาดความกระตือรือร้นในการจัดการกับระบบบำบัดน้ำเสีย รวมถึงทางยังขาดการประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ข่าวสารข้อมูลกับผู้ประกอบการซึ่งทำให้ผู้ประกอบการนั้นไม่ทราบถึงกองทุนช่วยเหลือและวิธีการเข้าร่วมโครงการกับทางภาครัฐจึงทำให้การตัดสินใจในการลงทุนเป็นไปได้ยากขึ้น นอกจากนี้ถ้าหากทางภาครัฐมีการประกาศเกี่ยวกับนโยบายทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจน จำทำให้ผู้ประกอบการสนใจและตัดสินใจในการลงทุนระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มากขึ้น เช่น นโยบายการซื้อขายเรื่องคาร์บอนเครดิต เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยสำเร็จสมบูรณ์นี้ได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากท่านผู้มีพระคุณหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ ผู้ซึ่งรับหน้าที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักโดยท่านได้สละเวลาให้คำแนะนำ และคุณวัลย์รัตน์ อุตมะปวารกรม ที่ช่วยแนะนำแนวทางการทำวิจัย ตลอดตั้งแต่ต้นจนงานศึกษาวิจัยฉบับนี้สำเร็จ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบพระคุณโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ ที่ช่วยส่งข้อมูลของโครงการต่างๆ เกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมทั้ง 5 ประเภท

ท้ายที่สุดผู้วิจัยหวังว่างานวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จะให้ประโยชน์และความรู้ซึ่งสามารถนำไปใช้งานต่อไปได้หรือก่อให้เกิดแนวทางในการที่จะพัฒนาด้านเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพและแนวทางการส่งเสริมเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] “โครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพ สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://biogas.erdj.or.th> 2556.
- [2] “โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม.”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.thaibiogas.com> 2556.
- [3] ชาญชัย คุณวานากิจ. การผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาภายใต้การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
- [4] ชีรพล วัฒนโกศล. ฐานข้อมูลระบบผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานแป่งมันสำปะหลัง วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.
- [5] บรรณาธิการ, กอง. เปลี่ยนน้ำเสียจากโรงงานแป่งเป็นก๊าซชีวภาพ. 20(2548): 116-117.
- [6] ผกาธรัตน์ พรหมอยู่. ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติน้ำเสียอุตสาหกรรมกับระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [7] พิชญ รัชฎาวงศ์ ก๊าซชีวภาพ. วารสารช่วงพุด 5(2553): 12-13.
- [8] มั่นสิน ตันฑุลเวศม์ เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542
- [9] “มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม.”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.efc.or.th> 2555.
- [10] “มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย.”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.tapiocathai.org> 2556.
- [11] โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.diw.go.th> 2556.
- [12] สุบันจิต นิรมรัตน์ ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ: แบบไม่ใช้ออกซิเจนและแบบผสม. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย(2548) : 132-137.
- [13] สถาบันวิจัยยาง [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.rubberthai.com> 2556.
- [14] สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://research.rdi.ku.ac.th> 2556.
- [15] สมพงษ์ ใจมา. การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ.. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/documents/php> 2549.
- [16] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.eppo.go.th> 2556.
- [17] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.arda.or.th> 2556.
- [18] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.oie.go.th> 2556.
- [19] อรุณี ศุภสินสาริต ก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสียโรงงานเบียร์ด้วยระบบ UASB. สิ่งแวดล้อม 1, 5(2539): 30-36.
- [20] อาณัติ มีป้อม. การศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวมเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพในจังหวัดนครปฐม วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.

- [21] Ahn Y-H Min K-S and Speece RE. Full scale UASB reactor performance in the brewery industry. Environment Technology 22(2001): 463-167.
- [22] Borja, R., and Banks, C.J. Comparison of anaerobic filter and anaerobic fluidized bed reactor treating palm oil mill effluent. Journal of process biochemistry 30, 6(1995) : 511-521.
- [23] Chrobak, R., and Ryder, R. Comparison of anaerobic treatment alternatives for brandy distillery process water. Journal of water Science and Technology (2005)
- [24] Cruz A and Buitron G. Biodegradation of disperse blue 79 using sequenced anaerobic/aerobic biofilter. Water Science and Tecnology 44(2001): 159-166.
- [25] Leal, K., Chacin, E., Behling, E., Gutierrez, E., and Fernandez, N. A mesophilic digestion of brewery wastewater in an unheated anaerobic filter. Journal of Bioresource Technology 41(1998): 1173-1178.
- [26] Metcalf & Eddy Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4th ed. New York : McGraw-Hill., 2004.
- [27] Murto R. (2004) Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure. Journal of Environmental Management 70, 2(2004): 101-107.
- [28] Pandey, A., Radhika, L.G., and Ramakrishna, S.V. Start-up in anaerobic treatment of nature-rubber effluent. Journal of Biological Wastes. 33(1990) : 143 – 147.
- [29] Poh, P.E., and Chong, M.F. Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent (POME) treatment. Online Journal of Bioresource Technology [Online]. Available from : ScienceDirect. Yacob, S., Hassaan, M.A., Shirai, Y., Wakisaka, M., and Subash, S. (2006). Baseline study of methane emission from anerobic ponds of palm oil mill effluent treatment. Journal of Science of the Total Environment 366(2008): 187-196.
- [30] US Environmental Protection Agency [Online]. Available : <http://www.epa.gov>