วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 (2555) 15–23
Available online at www.tsae.asia

บทความวิจัย

ISSN 1685-408X

การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับสลับความดัน

Pressure swing Adsorption for Biogas upgrading

ปภัส ชนะโรค[1], รัตนวรรณ เกียรติโกมล[2], วีรชัย อาจหาญ[3]*

Papas Chanaroke[1], Ratanawan Kiattikomol [2], Weerachai Arjharn[3]*

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

[1]School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

[2]สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี, การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย

[2]Petroleum Authority of Thailand (PTT) Research and Technology Institute.

[3]สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

[3]School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

*Corresponding author: Tel: +66-8-1834-9347, Fax: +66-44-225-045, E-mail: arjharh@g.sut.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาการเพิ่มศักยภาพในการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติสำหรับรถยนต์ โดยทั่วไปเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในรถยนต์จะต้องเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูง มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนมากกว่าร้อยละ 65 และมีค่าดัชนีวอบบี 37-42 $MJ.m^{-3}$ ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 60-70 แต่มีค่าดัชนีวอบบี 27 $MJ.m^{-3}$ จำเป็นต้องทำการปรับปรุงคุณภาพให้มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนเพิ่มมากขึ้น โดยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีการดูดซับแบบสลับความดัน โดยทำการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซ เช่น อุณหภูมิ ความดัน กับระยะเวลาในการดูดซับของตัวดูดซับ 2 ชนิด คือ ผลึกคัดโมเลกุล และถ่านกัมมันต์ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มความดันและลดอุณหภูมิให้กับระบบจะทำให้อัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพิ่มขึ้นทั้ง 2 ชนิดของตัวดูดซับ อย่างไรก็ตามความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของผลึกคัดโมเลกุลจะดีกว่าถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้ก๊าซชีวภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้วิธีการดูดซับสลับความดัน สามารถเพิ่มสัดส่วนก๊าซมีเทน ให้มีค่าร้อยละ 96 โดยปริมาตร ค่าดัชนีวอบบีสูงขึ้นเป็น 44 $MJ.m^{-3}$ สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนก๊าซธรรมชาติได้

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ, ตัวดูดซับ, การดูดซับสลับความดัน, การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

Abstract

The aim of the present research was to study the potential of biogas upgrading for replacing natural gas in vehicles. Generally, fuel used in vehicle must be high in quality; the proportion of methane should be at least 65% and wobby index is 37-42 $MJ.m^{-3}$ as announced by Department of Energy Business. Consideration to Biogas properties, the proportion of methane in biogas is usually about 60-70% but the wobby index is 27 $MJ.m^{-3}$, it is necessary to increase the methane concentration in biogas, which can be done by removing carbon dioxide. In this research, the biogas upgrading process can be described as the process of pressure swing adsorption. The experiment was carried out the parameters affecting to the biogas upgrading process such as temperature, pressure and retention time by using two types of Adsorbents of Molecular sieve and Activated Carbon. The results showed the rate of adsorption increased when pressure in the system was increased and temperature was decreased both types of Adsorbents. However, the carbon dioxide adsorption of Molecular sieve showed the better performance compare to Activated Carbon. The upgraded biogas can reach the methane

concentration achieved is 96% by volume and the wobby index is up to 44 MJ.m^{-3} using the process of pressure swing adsorption. These qualities meet to the fuel specification of natural gas vehicle.

Keywords: Biogas, Adsorbent, Pressure swing adsorption, Biogas upgrading

1 บทนำ

จากการเพิ่มขึ้นของประชากรในประเทศส่งผลให้ความต้องการพลังงานด้านต่าง ๆ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งปัจจุบันแหล่งพลังงานหลักที่ใช้อยู่คือพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuel) ทั้งในรูปของน้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ และผลผลิตข้างเคียงอื่นๆ (นคร ทิพยาวงศ์, 2553) กล่าวว่าปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการคมนาคมและการขนส่งมากที่สุดโดยเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในทุกภาคส่วน โดยจะพบว่าความต้องการพลังงานด้านการคมนาคมขนส่งในรูปของน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง สวนทางกับความต้องการเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2554) เนื่องจากความผันผวนของราคาน้ำมัน และการประกาศลอยตัวของราคาก๊าซปิโตรเลียมเหลว ส่งผลให้ผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายต้องรีบเร่งค้นหาแหล่งพลังงานใหม่ และเพิ่มศักยภาพในการใช้พลังงานที่มีอยู่เดิมเพื่อชดเชยพลังงานหลักที่นับวันจะมีปริมาณลดน้อยลง

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในสภาวะไร้อากาศ ซึ่งองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และความชื้น (Nozic, 2006) ก๊าซชีวภาพจัดเป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพมาก เนื่องจากสามารถนำมาทดแทนก๊าซธรรมชาติได้หลายรูปแบบ เช่น ไฟฟ้า ความร้อน ตลอดจนเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ (Jarvis, 2004)

การนำก๊าซชีวภาพมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์เพื่อทดแทนก๊าซธรรมชาตินั้น จะต้องทำการปรับปรุงให้มีคุณภาพ ให้มีมาตรฐานก๊าซธรรมชาติ ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงานซึ่งกำหนดให้มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกินร้อยละ 18 และค่าดัชนีวอบบี้ 37-42 MJ.m^{-3} เมื่อพิจารณาองค์ประกอบและคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ พบว่า มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 60-70 แต่มีค่าดัชนีวอบบี 27 MJ.m^{-3} ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน การปรับปรุงก๊าซชีวภาพให้มีค่าดัชนีวอบบี้เพิ่มขึ้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มสัดส่วนของก๊าซมีเทนเพิ่มมากขึ้น จากการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่อยู่ในก๊าซชีวภาพออกไป

เทคโนโลยีการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ โดยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย มี 2 ประเภท คือ 1) กระบวนการดูดซึมก๊าซ เช่น การดูดซึมด้วยสารประกอบประเภทเอมีน (Amine) กระบวนการทำได้ยากและใช้เงินลงทุนสูง ประสิทธิภาพสูง การดูดซึมด้วยน้ำ (Water Scrubber) กระบวนการนี้ทำได้ง่าย ลงทุนต่ำ ประสิทธิภาพพอใช้ แต่ก๊าซที่ผ่านการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีความชื้นสูง ต้องผ่านกระบวนการลดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน 2) กระบวนการดูดซับสลับความดัน เป็นเทคโนโลยีทำได้ง่ายลงทุนปานกลาง ต้องเป็นวัสดุดูดซับที่มีราคาสูง ประสิทธิภาพสูง และได้ก๊าซที่มีคุณภาพ (Khoo and Tan, 2006)

(เดชา ฉัตรศิริเวช, 2552) กล่าวว่ากระบวนการดูดซับสลับความดัน (Pressure swing Adsorption) เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างมากในภาคอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ โดยจะมีการทำงานเป็นวัฏจักรระหว่างการดูดซับ (Adsorption) และการคายซับ (Desorption) กระบวนการดังกล่าวนี้อาศัยความแตกต่างของความดัน คือ ที่ความดันสูงการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดี ในขณะที่การคายซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่ความดันต่ำ ดังนั้นโดยปรกติแล้วกระบวนการนี้จะประกอบด้วยหอดูดซับ 2 หอ ทำงานสลับกันระหว่างการดูดซับและการคายซับดัง Figure 1

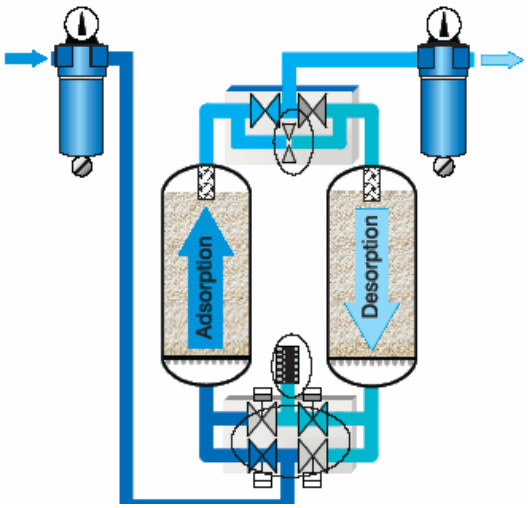


Figure 1 Pressure swing adsorption.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการเพิ่มศักยภาพในการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติสำหรับรถยนต์ โดยการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับสลับความดัน ในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกจากก๊าซชีวภาพ ตลอดจนศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ ให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับลักษณะและคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ปี 2552

2 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาในรูปแบบของการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยจะทำการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปะปนอยู่กับก๊าซชีวภาพ ด้วยกระบวนการดูดซับสลับความดัน (Pressure swing Adsorption) โดยใช้ผลึกคัดโมเลกุล (Molecular sieve) และถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นวัสดุดูดซับ โดยมีอุปกรณ์และวิธีการทดลองดังนี้

2.1 อุปกรณ์

1) ก๊าซชีวภาพ ก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากฟาร์มสุกร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้โลหะ (Iron Sponge)

2) เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ การวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ จะใช้เครื่องมือ วิเคราะห์ ยี่ห้อ Gastech รุ่น Biogas Check ดัง Figure 2 ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพภาคสนาม สำหรับตรวจเช็ค องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพก่อนและหลังทำการปรับปรุงคุณภาพ

3) เครื่องปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยระบบดูดซับสลับความดัน เป็นเครื่องต้นแบบที่ทำการพัฒนาโดย ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังแสดงไว้ใน Figure 3 โดยพิกัดและข้อกำหนดของเครื่องต้นแบบแสดงไว้ใน Table 1



Figure 2 Gastech (Biogas Check).



Figure 3 Pressure swing adsorption Unit.

Table 1 properties of the Pressure swing adsorption.

Pressure	8 bar(g)/116 psig	
Flow rate	25 lite min^{-1}	
Size	W × D ×H	1.0×1.2×1.8 (m)
	Net weight	180 (kg)
Electrical data	Voltage / frequency	230 V_{ac} / 50 Hz
	Power Consumption	400 w

4) วัสดุดูดซับที่ใช้

– ผลึกคัดโมเลกุล (Molecular sieve) Zeolite 13X บริษัท Sorbead India.

– ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) CGC 12 บริษัท ซีไจแกนติคคาร์บอน จำกัด

2.2 การศึกษาสภาวะส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยการทดลองแบบเบดนิ่ง

การทดสอบการดูดซับแบบเบดนิ่ง จะใช้ประยุกต์ต้นแบบเครื่องปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ โดยใช้เพียง 1 คอลัมน์ ดังแสดงไว้ใน Figure 4 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะ เช่น อุณหภูมิ และความดัน ที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวัสดุดูดซับ 2 ชนิดเปรียบเทียบกัน

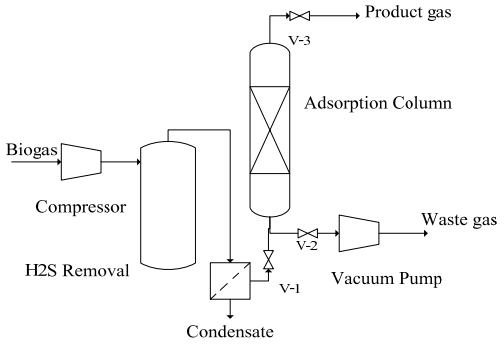


Figure 4 Scheme of the setup for the fixbed Experiments.

1) การศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดูดซับ

ทำการศึกษาอุณหภูมิที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยบรรจุสารดูดซับ Molecular sieve Zeolite 13X ปริมาณ 450 g ลงในหอดูดซับ ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพที่ไหลเข้าหอดูดซับ 25 L.min^{-1} และควบคุมความดันระบบที่ 7 bar ทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงระดับอุณภูมิดูดซับที่ 4 และ 10°C วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผ่านการดูดซับในแต่ละอุณหภูมิดูดซับอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ผ่านหน่วยดูดซับมีค่าใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้นที่ไหลเข้าหน่วยดูดซับนั้น จากนั้นทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนสารดูดซับเป็น Activated Carbon CGC 12

2) การศึกษาความดันที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดูดซับ

ทำการศึกษาความดันที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยบรรจุสารดูดซับ Molecular sieve Zeolite 13X ปริมาณ 450 g ลงในหอดูดซับ ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพที่ไหลเข้าหอดูดซับ 25 L.min^{-1} และควบคุมอุณหภูมิระบบที่ 4 $^{\circ}$C ทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงระดับความดันดูดซับที่ 2, 4, 5, 6 และ 7 bar วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผ่านการดูดซับในแต่ละค่าความดันทดสอบอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ผ่านหน่วยดูดซับมีค่าใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้นที่ไหลเข้าหน่วยดูดซับนั้น จากนั้นทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนสารดูดซับเป็น Activated Carbon CGC 12

3) การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับของตัวดูดซับที่ใช้ในงานวิจัย

ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นสมการที่มีประโยชน์สำหรับวิเคราะห์หาความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับต่างๆ ซึ่ง (เดชา ฉัตรศิริเวช, 2552) กล่าวว่ากระบวนการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนชนิดหนึ่ง แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับนี้โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าน้อยกว่าค่าความร้อนของปฏิกิริยาเคมีมากๆ สามารถระบายออกจากระบบดูดซับได้โดยง่ายจึงนิยมวัดไอโซเทอมของการดูดซับโดยกำหนดให้อุณหภูมิมีค่าคงที่ที่กำหนดไว้ โดยสมการฟรุนดิช (Freundlich Adsorption Isotherm) มีสมมุติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) พื้นที่ผิวและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง

$$q = K_F P^n \qquad (1)$$

เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ (mg.g^{-1}), P คือ ความดันย่อยของสารถูกดูดซับที่จุดสมดุล, K_F คือ Freundlich Capacity Factor, n คือ Freundlich Intensity Parameter

2.3 การทดสอบประสิทธิภาพระบบดูดซับสลับความดัน

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยระบบดูดซับสลับความดัน ทำการทดลองเพื่อหาวัฏจักรการดูดซับและประสิทธิภาพของเครื่องดูดซับสลับความดันที่พัฒนาขึ้น โดยมีแผนผังการทำงานดังแสดงไว้ใน Figure 5

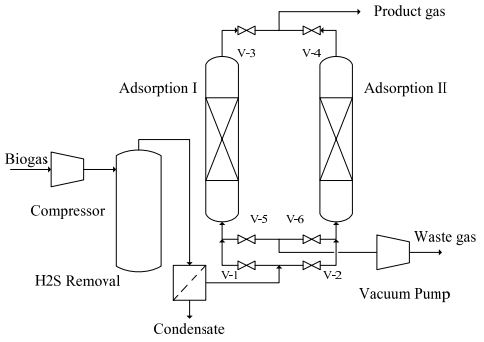


Figure 5 Scheme of the setup for the PSA experiments.

1) การศึกษาวัฏจักรการดูดซับของเครื่องปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการทดลองระบบดูดซับสลับความดันเพื่อหาเวลาที่จุดเบรคทรู (Breakthrough point) โดยควบคุมสภาวะของระบบที่อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 25 L.min^{-1} ความดัน 7 bar และอุณหภูมิ 4 $^{\circ}$C ให้สอดคล้องกับสภาวะที่ดีที่สุดตามการทดสอบแบบเบดนิ่งโดยใช้ Molecular sieve Zeolite 13X ปริมาณ 450 g เป็นตัวดูดซับ บันทึกค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลผ่านหน่วยดูดซับแต่ละหน่วยอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ผ่านหน่วยดูดซับมีค่าใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้นที่ไหลเข้าหน่วยดูดซับนั้น จากนั้นทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนสารดูดซับเป็น Activated Carbon CGC 12

2) การทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่องปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

ทำการทดสอบเครื่องปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับสลับความดันที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปะปนอยู่ในก๊าซชีวภาพ โดยทำการทดลองที่ความดัน 7 bar อุณหภูมิ 4 $^{\circ}$C และอัตราการไหล 25 L.min^{-1} โดยใช้ครึ่งวัฏจักรการดูดซับ 400 วินาที สำหรับ Molecular sieve Zeolite 13X และครึ่งวัฏจักรการดูดซับ 250 วินาที สำหรับ Activated Carbon CGC 12

3 ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพก่อนทำการปรับปรุง ใน Table 2 แสดงถึงองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซมีเทนมีสัดส่วนร้อยละ 68-70 และมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพก๊าซธรรมชาติตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานปี พ.ศ. 2552 แล้วพบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสมบัติทางเชื้อเพลิงพบว่า ยังมีค่าดัชนีวอบบี้ ต่ำกว่ามาตรฐาน การเพิ่มดัชนีวอบบี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มค่าความร้อนให้สูงขึ้น ในกรณีก๊าซชีวภาพนี้ การเพิ่มค่าความร้อนให้สูงขึ้นทำได้โดยการเพิ่มความเข้มข้นก๊าซมีเทน โดยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไป ส่วนสาเหตุที่ก๊าซธรรมชาติมีค่าความร้อนสูงกว่าก๊าซชีวภาพ ขณะที่ปริมาณก๊าซมีเทนที่มีอยู่มีสัดส่วนเทียบเคียงกัน เนื่องจากองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติมีก๊าซเชื้อเพลิงอื่นๆ เป็นส่วนผสมอยู่ด้วย ส่งผลให้ดัชนีวอบบี้มีค่าสูง สามารถนำไปใช้กับยานยนต์ตามมาตรฐานได้

Table 2 Biogas Composition in this study (%Volume).

Biogas	Biogas Composition	
	Before H_2S removal	After H_2S removal
CH_4	68-70%	68-70 %
CO_2	30-32%	30-32%
O_2	<0.2	<0.2
N_2	<0.2	<0.2
H_2S	≥2000 ppm	<23 ppm

3.2 ผลการทดสอบสภาวะต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดูดซับต่างๆ ขึ้นอยู่กับสภาวะของระบบที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิ ความดัน

1) อุณหภูมิที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดูดซับ

จากการศึกษาอุณหภูมิที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย Molecular sieve Zeolite 13X และ Activated Carbon CGC 12 ที่ความดันระบบ 7 bar และอัตราการไหล 25 L.min^{-1} พบว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปทำให้ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยเมื่อระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 4°C Molecular sieve Zeolite 13X สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ร้อยละ 83 ดัง Figure 6 ในขณะที่ Activated Carbon CGC12 จะสามารถดูดซับได้ร้อยละ 50 ดัง Figure 7 และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 10°C ความสามารถในการดูดซับจะลดลงซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Guo, B. (2006)

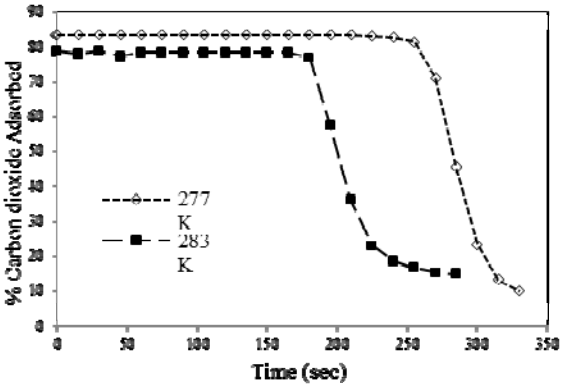


Figure 6 The adsorption of CO_2 at various Temperature with Molecular sieve Zeolite 13X.

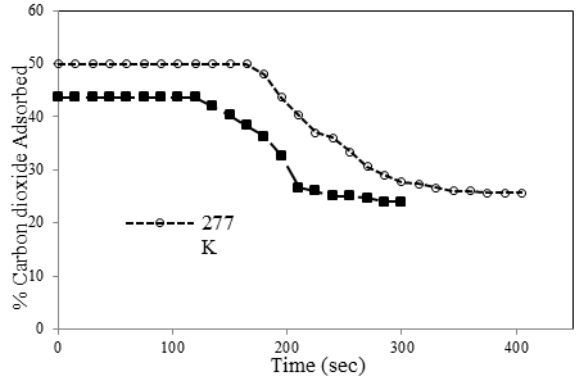


Figure 7 The adsorption of CO_2 at various Temperature with Activated Carbon CGC 12.

2) ความดันที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดูดซับ

จากการศึกษาความดันที่ส่งผลต่อความาสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ Molecular sieve Zeolite 13X และ Activated Carbon CGC12 โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ 450 g ควบคุมอุณหภูมิของระบบที่ 4°C และอัตราการไหลของก๊าซผสม 25 L.min^{-1} เมื่อก๊าซชีวภาพไหลผ่านตัวดูดซับในเบดนิ่งตัวดูดซับจะดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ภายใน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงเริ่มสะสมทั้งในเม็ดตัวดูดซับและช่องว่างระหว่างเม็ดตัวดูดซับ เขตของการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแพร่ออกในทางเดียวกับการไหลจนกระทั่งเขตของการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในตัวดูดซับแพร่ไปทั่วทั้งหอดูดซับ เมื่อก๊าซชีวภาพเคลื่อนที่ผ่านตัวดูดซับ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไหลออกจากหอดูดซับจนกระทั่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมเกือบทั่วบริเวณหอดูดซับ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงเริ่มเคลื่อนที่ออกจากหอดูดซับ เมื่อเพิ่มความดันให้กับระบบดูดซับจะทำให้ความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบจะสูงขึ้นด้วยดัง Figure 8 Molecular sieve Zeolite 13X สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ร้อยละ 89 ที่ความดัน 7 bar ในขณะที่ Activated Carbon CGC12 สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ร้อยละ 50 ดัง Figure 9 และเมื่อความดันของระบบมีค่าลดลงการดูดซับของ Molecular sieve Zeolite 13X และ Activated Carbon CGC12 จะมีค่าลดลงด้วย

3) ไอโซเทอมการดูดซับของตัวดูดซับ

จากข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิ และความดันที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดูดซับที่ใช้ สามารถนำมาหาไอโซเทอมของการดูดซับเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุลกับจำนวนของตัวถูกดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ 4°C อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 25 L.min^{-1} ของตัวดูดซับที่แตกต่างกันแสดงได้ดัง Figure 10

ความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดูดซับ Molecular sieve Zeolite 13X และ Activated Carbon CGC12 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) Freundlich Adsorption Isotherm ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Regression coefficient for the fitting Adsorption isotherm model.

Adsorbed	K_F	n	R^2
Zeolite 13X	1014.55	0.0475	0.9997
CGC 12	575.678	0.0928	0.9993

ดังนั้นจาก Table 3 ค่าคงที่ของฟรุนดิช (K_F) สามารถบอกได้ว่าตัวดูดซับ Molecular sieve Zeolite 13X มีความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า Activated Carbon CGC12 แสดงว่าถ้าต้องการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่เท่ากันจะต้องใช้ปริมาณ Activated Carbon CGC12 ประมาณ 1.8 เท่าของปริมาณ Molecular sieve Zeolite 13X

3.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบดูดซับสลับความดัน

จากการทดสอบประสิทธิภาพระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยวิธีการดูดซับสลับความดันโดยใช้ Molecular sieve Zeolite 13X และ Activated Carbon CGC 12 เป็นตัวดูดซับ ทำการทดลองที่ความดัน 7 bar อุณหภูมิ 4°C และอัตราการไหล 25 L.min^{-1}

1) วัฏจักรการดูดซับของเครื่องปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

กำหนดให้องค์ประกอบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเบรคทรูมีค่าเท่ากับร้อยละ 18 ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ตัวดูดซับ Molecular sieve Zeolite 13X จะมีจุดเบรคทรูอยู่ที่ 380 วินาที ดัง Figure 11 และ Activated Carbon CGC 12 จะมีจุดเบรคทรูอยู่ที่ 210 วินาที ดัง Figure 12

จากจุดเบรคทรูที่แสดงดัง Figure 9 (a) สามารถนำมาเขียนเป็นวัฏจักรการดูดซับของระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับสลับความดันได้ดัง Figure 13 ตัวอย่างวัฏจักรของกระบวนการดูดซับสลับความดันด้วยตัวดูดซับ Molecular sieve Zeolite 13X โดยค่าคาบเวลาต่างๆ แสดงดัง Table 4

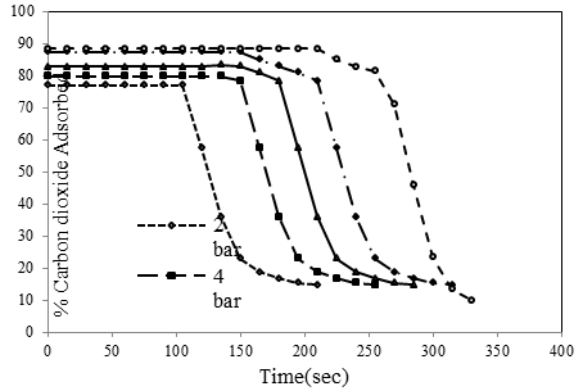


Figure 8 The adsorption of CO_2 at various pressures with Molecular sieve Zeolite 13X.

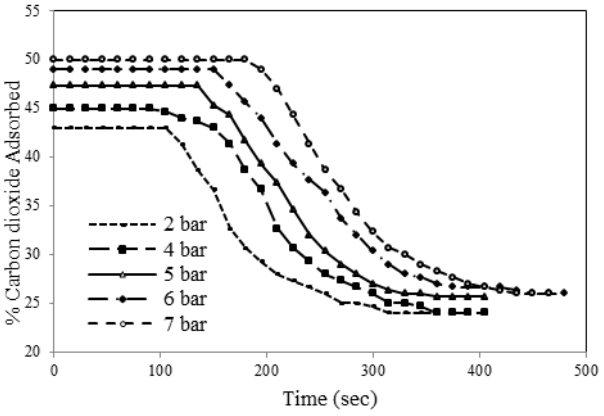


Figure 9 The adsorption of CO_2 at various pressures with Activated Carbon CGC 12.

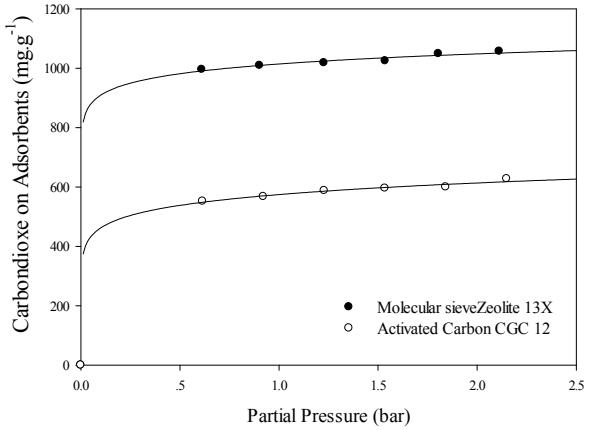


Figure 10 Adsorption isotherms of Carbon dioxide at 4°C on the different Adsorbents.

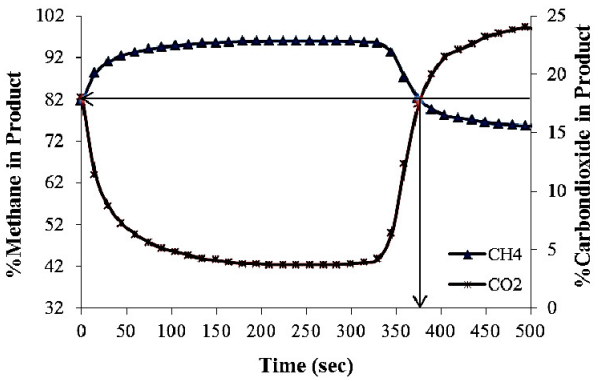


Figure 11 Relationships between Time (sec) VS %Gas mixture in the product gas with Molecular sieve Zeolite 13X.

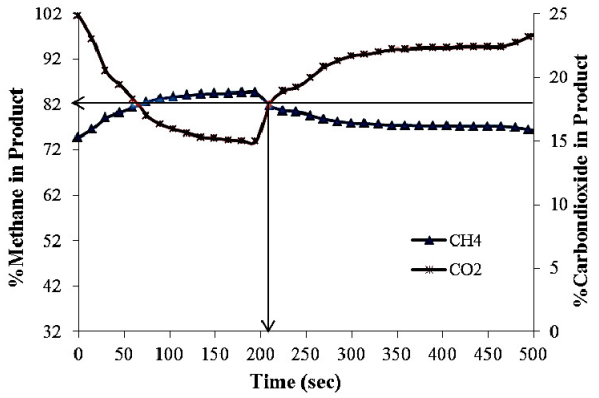


Figure 12 Relationships between Time (sec) VS %Gas mixture in the product gas with Activated Carbon CGC 12.

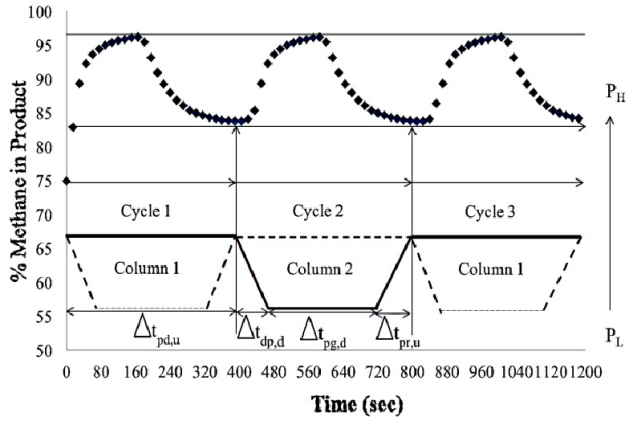


Figure 13 Pressure swing Adsorption upgrading cycle.

Table 4 Process of Pressure swing adsorption.

Adsorption cycle	Zeolite 13X		CGC 12	
	Time (sec)	Pressure (bar)	Time (sec)	Pressure (bar)
Adsorption $\Delta t_{pd.u}$	400	7	250	7
Red. Pressure $\Delta t_{dn.d}$	51	7 → -1	27	7 → -1
Purge gas $\Delta t_{pg.d}$	370	-1	213	-1
Inc. pressure $\Delta t_{pr.u}$	210	-1 → 7	120	-1 → 7

2) ประสิทธิภาพการดูดซับของเครื่องปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

จากการทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยวิธีการดูดซับสลับความดันที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ Molecular sieve Zeolite 13X และ Activated Carbon CGC12 เป็นตัวดูดซับ พบว่าระบบที่ใช้ Molecular sieve Zeolite 13X สามารถเพิ่มสัดส่วนของก๊าซมีเทนได้ถึงร้อยละ 82-96 ส่วนถ่านดูดซับ Activated Carbon CGC 12 สามารถเพิ่มสัดส่วนของก๊าซมีเทนได้ร้อยละ 82-85 ซึ่งเป็นผลให้ค่าความร้อนรวมถึงดัชนีวอบบีสูงขึ้น ดังแสดงใน Table 5 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับลักษณะและคุณภาพของก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานแล้วพบว่ากระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยวิธีการดูดซับสลับความดันที่พัฒนาขึ้น ใช้ Molecular sieve Zeolite 13X เป็นตัวดูดซับสามารถปรับปรุงก๊าซชีวภาพให้มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้การใช้ Activated Carbon CGC12 เป็นตัวดูดซับก๊าซชีวภาพที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด จำเป็นต้องทำการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ Activated Carbon CGC12 เพิ่มขึ้น

Table 5 Result of upgrading by Pressure Swing Adsorption.

Properties	Before Upgrade	After Upgrade	
		Zeolite 13X	CGC 12
CH_4 (%)	68-70	82-96	82-85
CO_2 (%)	30-32	4-18	15-18
Heating Value ($MJ.m^{-3}$)	24-25	29-34	29-30
Wobby index ($MJ.m^{-3}$)	26-27	34-44	34-36

4 สรุป

การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับสลับความดันสามารถเพิ่มศักยภาพทางเชื้อเพลิงให้กับก๊าซชีวภาพเพื่อให้มีความหลากหลายในการใช้งานมากขึ้น โดยทำการศึกษาผลของความดัน และอุณหภูมิของการดูดซับที่เปลี่ยนแปลงไปกับความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เจือปนอยู่ในก๊าซชีวภาพด้วยตัวดูดซับ 2 ชนิด คือ Molecular sieve Zeolite 13X และ Activated Carbon CGC12 พบว่าความดันและอุณหภูมิ มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับทั้งสองชนิด โดยเมื่อเพิ่มความดันและลดอุณหภูมิของระบบจะทำให้ระบบสามารถดูดซับได้ดีขึ้น ซึ่งจากการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซับสลับความดันพบว่าระบบที่ใช้ Molecular sieve Zeolite 13X เป็นตัวดูดซับสามารถเพิ่มสัดส่วนของก๊าซมีเทนได้ถึงร้อยละ 82-96 ทำให้ค่าดัชนีวอบบีเพิ่มขึ้นเป็น 34-44 $MJ.m^3$ ซึ่งมีค่าเทียบเคียงกับลักษณะและคุณภาพของก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ในขณะที่สภาวะเดียวกัน ระบบที่ใช้ Activated Carbon CGC12 เป็นตัวดูดซับสามารถเพิ่มสัดส่วนของก๊าซมีเทนได้ร้อยละ 82-85 ทำให้ค่าดัชนีวอบบีเพิ่มขึ้นเป็น 34-36 $MJ.m^3$ ซึ่งค่าที่ได้ยังไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณตัวดูดซับให้มากขึ้น

อย่างไรก็ตามแม้ว่า Molecular sieve Zeolite 13X จะมีความสารถในการดูดซับมากกว่า Activated Carbon CGC 12 แต่ Activated Carbon CGC 12 สามารถหาซื้อได้ง่ายและผลิตขึ้นเองภายในประเทศ ราคาถูกกว่า Molecular sieve Zeolite 13X และจากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับของตัวดูดซับทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิคงที่ 4°C แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ Activated Carbon CGC 12 เป็น 1.8 เท่าของ Molecular sieve Zeolite 13X จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับได้เท่ากัน ดังนั้น Activated Carbon CGC 12 จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับใช้ในระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับสลับความดัน

5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานการอุดมศึกษาที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

6 เอกสารอ้างอิง

กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2552). ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ พ.ศ. 2552. [ออนไลน์] http://elaw.doeb.go.th/doeb.

เดชา ฉัตรศิริเวช. (2552). กระบวนการดูดซับ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นคร ทิพยาวงศ์. (2553). เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2554). [ออนไลน์] http//www.energy.go.th.

Guo, B., Chang, L. and Xie, K. (2006). Adsorption of Carbon Dioxide on Activated Carbon. Journal of Natural Gas Chemistry: 223-229.

Jarvis, Å. (2004). Biogas–renewable energy from organic waste, The Swedish Biogas Association, Stockholm.

Khoo, H.H. and Tan, R.B.H. (2006). Life cycle investigation of CO_2 recovery and sequestration. Environ. Sci. Technol. 40, 4016–4024.

Nozic, M. (2006). Remoal of carbon dioxide from biogas. Department of Chemical Engineering., Lund University.