EAE13

การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับสลับความดัน

Pressure swing Adsorption for Biogas upgrading

ปภัส ชนะโรค[1] กงจักร ลมวิชัย[2] รัตนวรรณ เกียรติโกมล[3] และ วีรชัย อาจหาญ[2*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา 30000
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา 30000
[3] สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย
*ผู้ติดต่อ: E-mail: arjharh@g.sut.ac.th, โทรศัพท์: 044 225 007, โทรสาร: 044 225 045,044 224 610

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาการเพิ่มศักยภาพในการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติสำหรับรถยนต์ เชื้อเพลิงก๊าซที่ใช้จะต้องเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพ มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนมากกว่าร้อยละ 65 ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน ทั้งนี้ก๊าซชีวภาพ มีก๊าซมีเทน เป็นองค์ประกอบเพียง ร้อยละ 60-70 จำเป็นต้องทำการปรับปรุงคุณภาพให้มีสัดส่วนของแก๊สมีเทนเพิ่มมากขึ้น โดยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) การทดลองจะใช้ชุดทดลองการดูดซับแบบสลับความดันที่ประกอบด้วย หอดูดซับซึ่งบรรจุตัวดูดซับ Molecular sieve Zeolite 13X จำนวน 2 หอ และทำการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการดูดซับสลับความดัน เช่น อุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลา จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความดันหรือลดอุณหภูมิให้กับระบบ จะทำให้การดูดซับเกิดได้ดีขึ้น สัดส่วนสูงสุดของก๊าซมีเทนที่ได้เท่ากับร้อยละ 96 โดยปริมาตร

คำหลัก: ก๊าซชีวภาพ, ตัวดูดซับ, การดูดซับสลับความดัน

Abstract

The objective 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% as announced by Department of Energy Business. However, as the proportion of methane in biogas is usually about 60-70%, it is necessary to increase the methane concentration in biogas, which can be done by removing carbon dioxide. The experiment was carried out using a set of pressure swing adsorption, consisting mainly of two adsorption towers containing adsorbent molecular sieve Zeolite 13X. Parameters affecting the process of pressure swing adsorption such as temperature, pressure and retention time were investigated. The results showed that when increasing pressure or decreasing temperature in the system, the adsorption rate increased. The maximum methane concentration achieved is 96% by volume.

Keywords: Biogas, Adsorbent, Pressure swing adsorption

1. บทนำ

กระบวนการดูดซับสลับความดัน (Pressure swing Adsorption) คือกระบวนการดูดซับที่มีการทำงานเป็นวัฏจักร โดยที่กระบวนการนี้อาศัยความแตกต่างของความดันคือที่ความดันสูงการดูดซับ (Adsorption) จะเกิดขึ้นได้ดี ในขณะที่การคายซับ (Desorption) จะเกิดขึ้นได้ดีที่ความดันต่ำ [2] ดังนั้นโดยปรกติแล้วกระบวนการนี้จะประกอบด้วยหอดูดซับ 2 หอทำงานสลับกันระหว่างการดูดซับและการคายซับ

ก๊าซชีวภาพ(Biogas) จัดเป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพมาก เนื่องจากสามารถนำมาแปลงเป็นพลังงานได้หลายรูปแบบ เช่น ไฟฟ้าและความร้อน [3] ปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆอย่างชัดเจน งานวิจัยนี้จึงนำก๊าซชีวภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วมาเปรียบเทียบกับก๊าซธรรมชาติที่ใช้กับยานพาหนะซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกันแต่การนำก๊าซชีวภาพมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะนั้นยังน้อยอยู่ เนื่องจากเชื้อเพลิงก๊าซที่ใช้จะต้องเป็นเชื้อเพลิงที่มีลักษณะและคุณภาพ ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงานซึ่งกำหนดให้มี ก๊าซมีเทนไม่น้อยกว่าร้อยละ65 คาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกินร้อยละ18 และค่าดัชนีวอบบี้ 37-42 MJ/m^3 [1] ทั้งนี้ก๊าซชีวภาพมีคุณภาพต่ำกว่าประกาศที่กำหนด จึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ ก๊าซอื่นๆ ออกไป

การวิจัยในครั้งนี้จะเป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการสลับความดันโดยเน้นที่จะกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อให้ก๊าซชีวภาพที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพนี้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้สำหรับยานพาหนะได้

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาในรูปแบบของการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปะปนอยู่กับก๊าซชีวภาพ ด้วยกระบวนการดูดซับสลับความดัน (Pressure swing Adsorption) โดยใช้ตัวดูดซับ Molecular sieve zeolite 13X เป็นตัวดูดซับ และใช้ก๊าซชีวภาพจากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Covered Lagoon ที่มีมูลสุกรเป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ ดังนั้นจึงแบ่งอุปกรณ์และวิธีการทดลองดังนี้

2.1 ก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการวิจัย

ก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากฟาร์มสุกร โดยจะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ในการควบคุมองค์ประกอบเริ่มต้นของก๊าซชีวภาพ และเปรียบเทียบกับองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพหลังการปรับปรุง ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพของ Geotech รุ่น Biogas Check ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

2.2 เครื่องปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

เครื่องปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพนี้เป็นเครื่องที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้ตามรูปที่ 3 และข้อมูลคุณสมบัติดังตารางที่ 1

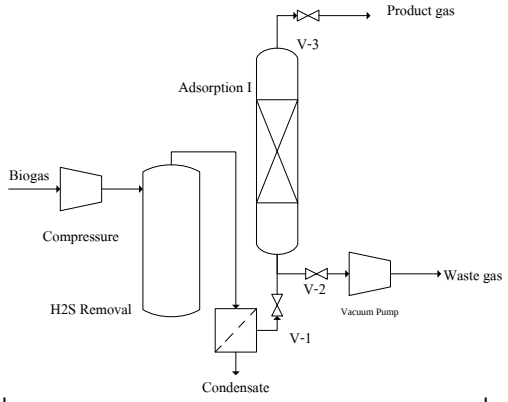
รูปที่ 2 เครื่องดูดซับสลับความดัน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเครื่องปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ความดันระบบ	ความดันระบบสูงสุด	8 bar(g)/116 psig
ก๊าซมีเทนชีวภาพ	อัตราการไหลสูงสุด	25 lite /min
ขนาด	กว้าง×ยาว×สูง	1.0×1.2×1.8 (m)
	น้ำหนักสุทธิ	180 kg
ข้อมูลด้านไฟฟ้า	กระแส/ความถี่	230Vac/50Hz
	การใช้พลังงาน	400

2.3.1 ทดลองแบบเบดนิ่ง

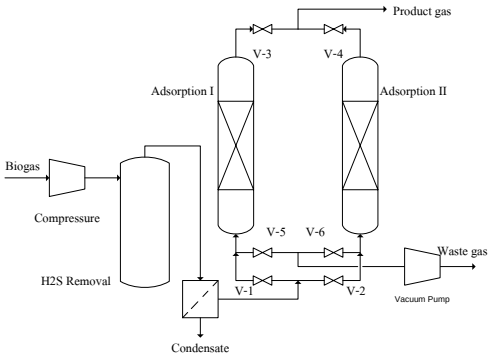
การศึกษาสภาวะที่เหมาะต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดูดซับMolecular sieve zeolite 13X ด้วยระบบทดสอบการดูดซับแบบเบดนิ่ง อาทิเช่น ความดัน อุณหภูมิ และปริมาณตัวดูดซับภายในหอดูดซับบรรจุตัวดูดซับต่าง ๆในปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละการทดลองคือ 200, 300, 450 กรัมตามลำดับ ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพที่ไหลเข้าหน่วยดูดซับอยู่ที่ 25 ลิตรต่อนาที ทำการทดสอบที่อุณหภูมิดูดซับ 2 ระดับ คือ 4 และ 10 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนแปลงระดับความดันที่ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 บาร์ ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผ่านการดูดซับอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจนกระทั่งความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ผ่านหน่วยดูดซับมีค่าเท่ากับค่าเริ่มต้นที่ไหลเข้าหน่วยดูดซับนั้น



รูปที่ 3 ระบบทดสอบสภาวะการดูดซับแบบเบดนิ่ง

2.3.2 การทดลองระบบดูดซับสลับความดัน (Pressure swing adsorption)

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยระบบดูดซับสลับความดันที่พัฒนาขึ้น ทำการทดสอบโดยควบคุมสภาวะของระบบ เช่นความดัน อุณหภูมิ และอัตราการไหลของก๊าซผสมที่ไหลเข้าหน่วยดูดซับให้สอดคล้องกับสภาวะที่ดีที่สุดตามการทดสอบระบบแบบเบดนิ่ง จากนั้นทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผ่านการดูดซับอย่างต่อเนื่อง บันทึกค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกซ์ที่ไหลผ่านหน่วยดูดซับแต่ละหน่วยเพื่อหาประสิทธิภาพและวัฏจักรการดูดซับของระบบการดูดซับสลับความดันที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 4 ระบบทดสอบการดูดซับสลับความดัน

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆรวมไปถึงก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีผลทำให้อายุการใช้งานของตัวดูดซับที่ใช้ลดลงได้จึงต้องกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในเบื้องต้นก่อนนำก๊าซชีวภาพมาใช้ในงานวิจัย ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ใช้ในงานวิจัย (%Volume)

ก๊าซ	*องค์ประกอบเริ่มต้น*	*ก๊าซที่ใช้ในงานวิจัย**
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

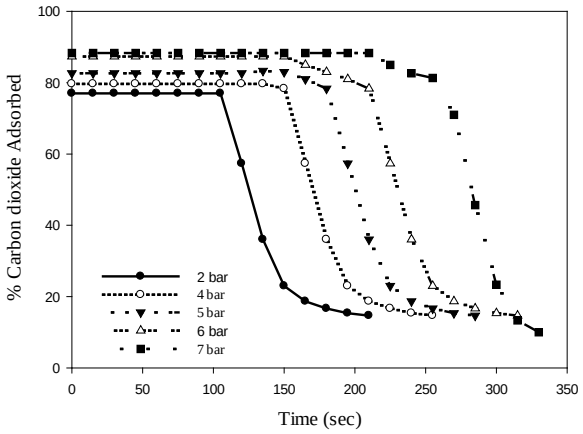
หมายเหตุ * ผ่านการกำจัดก๊าซไฮโรเจนซัลไฟด์ด้วยวิธีการดูดซับ

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากตารางที่ 2 กับลักษณะและคุณภาพของก๊าซธรรมชาติตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน [1] แล้ว พบว่าก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีสัดส่วนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด มีเพียงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้นที่มีมากกว่าค่าที่กำหนดตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

3.2 ผลการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3.2.1ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

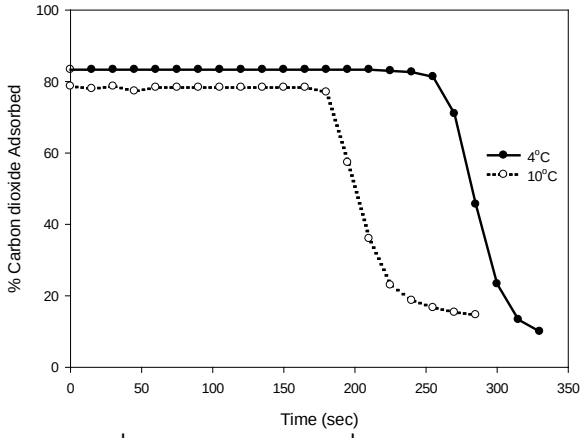
เมื่อศึกษาความดันที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดูดซับ Molecular sieve Zeolite 13X โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ 300 กรัม อุณหภูมิ 4°C และอัตราการไหลของก๊าซผสม 25 ลิตรต่อนาที ดังรูปที่ 4.2 พบว่า Molecular sieve Zeolite 13X สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ร้อยละ 77 ที่ความดัน 2 bar เมื่อความดันของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 4, 5, 6 และ7 bar การดูดซับของตัวดูดซับจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 80,82,87 และ 89 ตามลำดับ อีกทั้งระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลจะเพิ่มขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดูดซับ Molecular sieve Zeolite 13X แปรผันตรงกับความดัน



รูปที่ 5 การดูดซับ CO_2 ที่ความดันต่างๆ

3.2.2 ผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

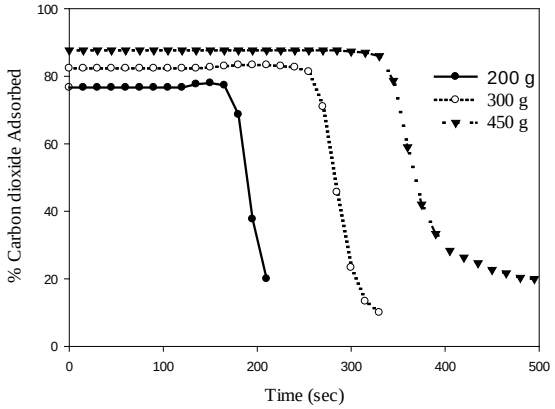
จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยตัวดูดซับ Molecular sieve Zeolite 13X ที่ความดันระบบ 7 bar และอัตราการไหล 25 ลิตรต่อนาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปทำให้ประสิทธิภาพของระบบเปลี่ยนแปลงไปโดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลง แสดงว่า การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย Molecular sieve Zeolite 13X เป็นกระบวนการคายความร้อน จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิ 4°C Molecular sieve Zeolite 13X สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ร้อยละ 83 และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 10°C การดูดซับลดเหลือเพียงร้อยละ79



รูปที่ 6 การดูดซับ CO_2 ที่อุณหภูมิต่างๆ

3.2.3 ปริมาณตัวดูดซับต่อประสิทธิภาพของการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

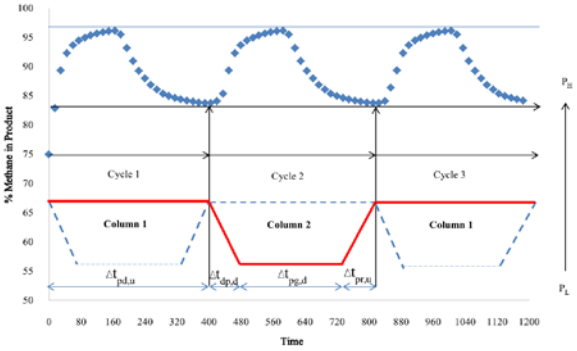
จากรูปที่ 7 ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ Molecular sieve Zeolite 13X ต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยทำการทดลองที่สภาวะความดัน 7 bar อุณหภูมิ 4°C และอัตราการไหล 25 ลิตรต่อนาที พบว่าเมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นดังนี้ 450g > 300g > 200g



รูปที่ 7 การดูดซับ CO_2 ที่ปริมาณตัวดูดซับต่างๆ

3.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบดูดซับสลับความดัน

การศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับสลับความดัน ทำการทดลองที่ความดัน 7 bar อุณหภูมิ 4°C และอัตราการไหล 25 ลิตรต่อนาที โดยใช้ครึ่งวัฏจักรการดูดซับ 400 วินาที สำหรับ Zeolite 13 X พบว่ากระบวนการดูดซับสลับความดันที่ใช้ Molecular sieves Zeolite 13X สามารถเพิ่มสัดส่วนของก๊าซมีเทนได้ถึงร้อยละ 82-96 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพสามารถดูได้ดังรูป 4.18



รูปที่ 8 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 3 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซ ชีวภาพด้วยการดูดซับสลับความดัน

การดูดซับสลับความดัน	*Molecular sieve Zeolite 13X*	
	เวลา (sec)	ความดัน (bar)
คาบดูดซับ $\Delta t_{pd,u}$	400	7
คาบปรับลดความดัน $\Delta t_{dp,d}$	51	7→-1
คาบย่อยไล่ก๊าซ $\Delta t_{pg,d}$	370	-1
คาบเพิ่มความดัน $\Delta t_{pr,u}$	210	-1→7
องค์ประกอบก๊าซผสม (%)	4-18 CO_2	82-96 CH_4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเครื่องปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ (Pressure Swing Adsorption)

คุณสมบัติ	*หน่วย*	*ก่อนปรับปรุง*	*หลังปรับปรุง*
Methane	%	68-70	82-96
Carbon dioxide	%	30-32	4-18
Heating Value	MJ/m^3	24.34-25.06	29.35-34.37
Wobby index	-	26.15-27.24	34.37-44.63

4. สรุป

การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยการดูดซับสลับความดันเป็นการศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของก๊าซชีวภาพให้มีความหลากหลายในการใช้งานมากขึ้น โดยทำการศึกษาผลของความดัน อุณหภูมิ และปริมาณตัวดูดซับ ที่เปลี่ยนแปลงไปกับประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เจือปนอยู่ในก๊าซชีวภาพ พบว่าความดัน อุณหภูมิ และ

ปริมาณตัวดูดซับมีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ ความดัน และลดอุณหภูมิของระบบจะทำให้ระบบสามารถดูดซับได้ดีขึ้น และจากการศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับพบว่า ระบบสามารถเพิ่มสัดส่วนของก๊าซมีเทนได้ถึงร้อยละ 82-96

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานการอุดมศึกษาที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

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

[2] เดชา ฉัตรศิริเวช.(2552). กระบวนการดูดซับ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2552.

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