



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การทดลองกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไบโอไฮเทนจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมัน

ปาล์มโดยวิธี water scrubbing

Experimental study for biohythane upgrading from palm oil mill effluent by  
water scrubbing

นายศรีรัตน์ ช่วยบุญ

รศ.ดร.สุธีระ ประเสริฐสรรพ

ศ.ดร.พูนสุข ประเสริฐสรรพ

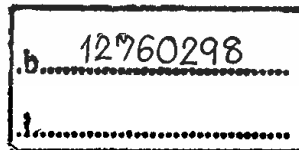
ผศ.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์

นางสาววารุณี ลิ้มมัน

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 142082

รับเดือนปี 21 เม.ย. 2559



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การทดลองกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไบโอไฮเทนจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมัน  
ปาล์มโดยวิธี water scrubbing  
Experimental study for biohythane upgrading from palm oil mill effluent by  
water scrubbing

นายศรีรัตน์ ช่วยบุญ

รศ.ดร.สุธีระ ประเสริฐสรรพ

ศ.ดร.พูนสุข ประเสริฐสรรพ

ผศ.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์

นางสาววารุณี ลิ้มมัน

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การทดลองกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไบโอไฮเทนจากน้ำทิ้งโรงงาน  
สกัดน้ำมันปาล์มโดยวิธี water scrubbing

แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ.....2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน..... 500,000..... บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย.....1..... ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

นายศรีรัตน์ ช่วยบุญ	สถานะ หัวหน้าโครงการวิจัย	หน่วยงานต้นสังกัด วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
รศ.ดร.สุธีระ ประเสริฐสรรพ	สถานะ ผู้ร่วมวิจัย	หน่วยงานต้นสังกัด มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศ.ดร.พูนสุข ประเสริฐสรรพ	สถานะ ผู้ร่วมวิจัย	หน่วยงานต้นสังกัด มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์	สถานะ ผู้ร่วมวิจัย	หน่วยงานต้นสังกัด วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
นางสาววารุณี ลิ้มมัน	สถานะ ผู้ร่วมวิจัย	หน่วยงานต้นสังกัด วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ใน Biohythane โดยวิธีดูดซับด้วยน้ำ (water scrubber) biohythane ถูกจำลองจากก๊าซ  $\text{CH}_4$  53.34%,  $\text{H}_2$  7.54% และ  $\text{CO}_2$  39.12% ซึ่งสัดส่วนดังกล่าวได้มาจากการทดลองการผลิต biohythane จากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในระดับห้องปฏิบัติการ การกำจัดก๊าซ  $\text{CO}_2$  ใน Biohythane โดย Water Scrubber อาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการลดปริมาณก๊าซ  $\text{CO}_2$  โดยใช้หลักการระทบกั้นระหว่างน้ำกับ biohythane จนเกิดฟองภายในถัง Water scrubber ที่มีลักษณะเป็นรูปถ้วย วัตถุประสงค์คือหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดก๊าซ  $\text{CO}_2$  ใน Biohythane ให้เหลือน้อยที่สุด โดยศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองซึ่งมีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์และสถิติมาเกี่ยวข้องซึ่งมีตัวแปรคือ เวลาในการทดลอง, อัตราการไหลของ Biohythane และอัตราการไหลของน้ำ จากผลการทดลองจะได้สมการการกำจัดก๊าซ  $\text{CO}_2$  ในรูปของ polynomial ที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรดังกล่าว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.809 เงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการกำจัดก๊าซ  $\text{CO}_2$  ใน Biohythane ที่ได้จากการสมการ คือ เวลาในการทดลอง 9 min, อัตราการไหลของ Biohythane 3 l/min และอัตราการไหลของน้ำ 16 l/min สามารถกำจัดก๊าซ  $\text{CO}_2$  ใน Biohythane สูงสุดเท่ากับ 90.1% จากการทดลองที่เงื่อนไขที่เหมาะสมพบว่าสามารถกำจัดก๊าซ  $\text{CO}_2$  ใน Biohythane เท่ากับ 84.12% ซึ่งค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นจึงมีความเหมาะสมสำหรับอธิบายช่วงของตัวแปรในการทดลองที่ใช้ศึกษาและมีความน่าเชื่อถือทางสถิติในการใช้ทำนายกำจัดก๊าซ  $\text{CO}_2$  ใน Biohythane

คำสำคัญ : Biohythane, Water scrubber, สภาวะที่เหมาะสม, วิธีพื้นผิวตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Research Title:** An experimental study for CO<sub>2</sub> removal in biohythane by using water scrubber  
**Researcher:** Mr.Srirat Chuayboon\*, Assoc.Prof.Dr.Suteera Prasertsan, Prof.Dr.Poonsuk Prasertsan,  
 Asst.Prof.Panya Daungviluilux and Miss Warunee Limmun.....  
 .....  
**Faculty:** Prince of Chumphon Campus\* .....**Department:** .....Mechanical Engineering.....

### ABSTRACT

In this study, an experimental on CO<sub>2</sub> removal in biohythane by using water scrubber system was performed in terms of percentage of CO<sub>2</sub> removal (CR). Biohythane was simulated using 53.34% CH<sub>4</sub>, 39.12% CO<sub>2</sub>, and 7.54% H<sub>2</sub> which represented from lap scale biohythane production. The water scrubber system used water as a working substance to scrub CO<sub>2</sub> in biohythane. The working principle of water scrubber was that biohythane and water collided with the cup inside the column for generating bubble. The objective is to find the optimum condition which can mostly remove CO<sub>2</sub> in biohythane. The water flow rate, biohythane flow rate, and operating time are parameters to locate optimum condition using response surface method which is mathematical combining statistical model. As a result, the polynomial equation was obtained for predicting CR by multiple regression analysis. It was found that the response model was significantly coefficient (R<sup>2</sup>) about 0.809. The optimum condition of CO<sub>2</sub> removal in biohythane, which was the maximum of CO<sub>2</sub> removal about 90.1%, was 3 l/min biohythane flow rate, 16 l/min water flow rate, and 9 min operating time. In the experimental at its optimum condition, CO<sub>2</sub> removal increased up to 84.12% which is nearby with the result of equation model. Therefore, the mathematical model can sufficiently apply for describing rang of the experimental parameters and have a statistically accurate prediction of the CO<sub>2</sub> removal in biohythane.

**Keywords :** Biohythane, Water scrubber, Optimum condition, Response surface methodology

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2558 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ให้ทุนเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนเครื่องมือ Gas chromatography ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซไบโอไฮเทน

ขอขอบคุณ Professor Tsuyoshi Imai จาก Yamaguchi University ประเทศญี่ปุ่น ที่ให้การสนับสนุนชุดกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยและขอขอบคุณบุคลากรที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยทุกท่าน

นายศรียรัตน์ ช่วยบุญ  
รศ.ดร.สุธีระ ประเสริฐสรรพ  
ศ.ดร.พูนสุข ประเสริฐสรรพ  
ผศ.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์  
นางสาววารุณี ลิ้มมัน

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 การตรวจเอกสาร	6
1.3 วัตถุประสงค์	7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงาน	8
2.1 ก๊าซธรรมชาติ	8
2.1.1 ส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติ	8
2.1.2 คุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติ	9
2.1.3 ผลกระทบจากการแยกก๊าซธรรมชาติ	9
2.1.4 ประโยชน์ของก๊าซธรรมชาติ	11
2.2 ก๊าซชีวภาพ	11
2.2.1 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของก๊าซชีวภาพ	11
2.2.2 การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพ	13
2.2.3 ไบโอดีเทน (Biodythane) หรือก๊าซผสม	14
2.2.4 สมบัติก๊าซผสม	16
2.2.5 การพิจารณาเพื่อปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ	19
2.3 ทฤษฎีการจับตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> ) กับน้ำ (H <sub>2</sub> O)	26
2.4 ไฮโดรเจนและคุณสมบัติของไฮโดรเจน	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	28
3.1 ก๊าซที่ใช้ในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน Biohythane	30
3.2 การวิเคราะห์สัดส่วนก๊าซธรรมชาติก่อนการทดลอง	31
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน Biohythane	32
3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	32
3.5 วิธีการทดลอง	33
3.6 การวางแผนการทดลอง	34
3.7 การหารูปแบบสมการทำนายความสัมพันธ์	36
3.8 การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane	37
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	38
4.1 ผลการศึกษาหารูปแบบสมการทำนายความสัมพันธ์ของการลดปริมาณ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane	38
4.2 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการลดปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane	41
4.3 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอ	48
5.1 สรุปผลการวิจัย	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก การปรับสัดส่วน biohythane ก่อนการทดลอง	54
ภาคผนวก ข เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	57
ภาคผนวก ค ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง	73
ภาคผนวก ง ตารางแจกแจงแบบเอฟ	76
ภาคผนวก จ ค่าสถิติของสมการทำนายความสัมพันธ์	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์มาตรฐานก๊าซ H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> และ CNG	82
ภาคผนวก ช ผลการวิเคราะห์อัตราส่วน Biohythane	84
ภาคผนวก ซ ผลการทดลองการหาปริมาณ CO <sub>2</sub> ที่ลดลงใน Biohythane	88
ภาคผนวก ญ การหาสมการความสัมพันธ์โดยใช้วิธี multiple regression	105
ภาคผนวก ฐ การหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane	110
ภาคผนวก ท สรุปผลการดำเนินงาน	113
ภาคผนวก ฒ สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย	115
ประวัตินักวิจัย	117



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 พื้นที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ ปี 2558	2
รูปที่ 1.2 การเกิดน้ำเสียจากเครื่องจักรในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	4
รูปที่ 1.3 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ	5
รูปที่ 2.1 ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับให้ความร้อน	13
รูปที่ 2.2 ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตความร้อนและไฟฟ้าแบบ Cogeneration	14
รูปที่ 2.3 ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์	14
รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิต Biohythane แบบ 2 ขั้นตอน	15
รูปที่ 2.5 แสดงเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Water Scrubber Technology ชนิดนำน้ำกลับมาใช้ใหม่	21
รูปที่ 2.6 แสดงเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Pressure Swing Adsorption	22
รูปที่ 2.7 แสดงเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Chemical Adsorption	24
รูปที่ 2.8 แสดงเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Membrane Separation	24
รูปที่ 2.9 แสดงระบบการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ระบบเมมเบรน แบบ Hollow Flow	25
รูปที่ 3.1 แผนผังการทดลองการกำจัดก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane	28
รูปที่ 3.2 ภาพจริงของการทดลองการกำจัดก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane	29
รูปที่ 3.3 ภายในของถัง Water Scrubber และการเกิดฟองจากการกระทบ	34
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้จากการทดลอง (Actual การลดปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane) กับสมการทำนายความสัมพันธ์ (Predicted การลดปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane)	41
รูปที่ 4.2 (ก) พื้นผิวตอบสนอง ของการลดปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane ที่อัตราการไหลของ Biohythane กับเวลาการทดลองต่างกัน (ข) กราฟ Contour ของการลดปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane ที่อัตราการไหลของ Biohythane กับเวลาการทดลองต่างกัน	42
รูปที่ 4.3 (ก) พื้นผิวตอบสนอง ของการลดปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane ที่ค่าของอัตราการไหลของ Biohythane กับอัตราการไหลของน้ำต่างกัน (ข) กราฟ Contour ของการลดปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane ที่อัตราการไหลของ Biohythane กับอัตราการไหลของน้ำต่างกัน	44

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.4 (ก) พื้นผิวตอบสนอง ของการลดปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane ที่ค่าอัตราการไหลของน้ำกับเวลาการทดลองต่างกัน (ข) กราฟ Contour ของการลดปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane ที่ค่าของอัตราการไหลของน้ำกับเวลาการทดลองต่างกัน	45
รูปที่ ข.1 ถังก๊าซธรรมชาติอัด	58
รูปที่ ข.2 อุปกรณ์ปรับลดความดัน (Pressure regulator)	58
รูปที่ ข.3 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve)	59
รูปที่ ข.4 เกจวัดความดัน (Pressure gauge)	59
รูปที่ ข.5 วาล์วเปิด-ปิด พร้อมหัวเติมก๊าซธรรมชาติ	60
รูปที่ ข.6 ท่อก๊าซความดันสูง (Hi-Pressure Steel pipe)	60
รูปที่ ข.7 ท่อก๊าซความดันต่ำ (Low-Pressure pipe)	61
รูปที่ ข.8 ท่อทองแดง	61
รูปที่ ข.9 การติดตั้ง mass flow controller	61
รูปที่ ข.10 ก๊าซธรรมชาติอัด CNG	63
รูปที่ ข.11 ถังน้ำร้อน	63
รูปที่ ข.12 ฮีตเตอร์	64
รูปที่ ข.13 ปุ่มตีก	64
รูปที่ ข.14 ถังก๊าซไฮโดรเจน	65
รูปที่ ข.15 อุปกรณ์ลดความดันของไฮโดรเจน	65
รูปที่ ข.16 อุปกรณ์กันไฟย้อนกลับ	66
รูปที่ ข.17 ถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	66
รูปที่ ข.18 อุปกรณ์ลดความดันของคาร์บอนไดออกไซด์	67
รูปที่ ข.19 อุปกรณ์ผสมก๊าซ	67
รูปที่ ข.20 ถังพักก๊าซ	68
รูปที่ ข.21 ถัง Water Scrubber	68
รูปที่ ข.22 บั๊มน้ำ	69
รูปที่ ข.23 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ Rotameter	69
รูปที่ ข.24 อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซรั่ว (Gas leak detector)	70
รูปที่ ข.25 ถุงเก็บตัวอย่างก๊าซ (Gas Sample Bags)	71
รูปที่ ข.26 Gas chromatography	72
รูปที่ ค.1 ช่วงการแปรค่าของตัวแปรอิสระ	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ ค.2 วิธีวิเคราะห์การวางแผนการทดลอง	75
รูปที่ ฉ.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ CNG	83
รูปที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์ Biohythane ก่อนการทดลอง ครั้งที่ 1	85
รูปที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์ Biohythane ก่อนการทดลอง ครั้งที่ 2	85
รูปที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ Biohythane ก่อนการทดลอง ครั้งที่ 3	86
รูปที่ ข.4 ผลการวิเคราะห์ Biohythane ก่อนการทดลอง ครั้งที่ 4	86
รูปที่ ข.1 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 1 ครั้งที่ 1	89
รูปที่ ข.2 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 1 ครั้งที่ 2	89
รูปที่ ข.3 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 2 ครั้งที่ 1	90
รูปที่ ข.4 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 2 ครั้งที่ 2	90
รูปที่ ข.5 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 3 ครั้งที่ 1	91
รูปที่ ข.6 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 3 ครั้งที่ 2	91
รูปที่ ข.7 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 4 ครั้งที่ 1	92
รูปที่ ข.8 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 4 ครั้งที่ 2	92
รูปที่ ข.9 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 5 ครั้งที่ 1	93
รูปที่ ข.10 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 5 ครั้งที่ 2	93
รูปที่ ข.11 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 6, การทดลองที่ 11 และการทดลองที่ 17 ครั้งที่ 1	94
รูปที่ ข.12 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 6, การทดลองที่ 11 และการทดลองที่ 17 ครั้งที่ 2	94
รูปที่ ข.13 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 7 ครั้งที่ 1	95
รูปที่ ข.14 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 7 ครั้งที่ 2	95
รูปที่ ข.15 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 8 ครั้งที่ 1	96
รูปที่ ข.16 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 8 ครั้งที่ 2	96
รูปที่ ข.17 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 9 ครั้งที่ 1	97
รูปที่ ข.18 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 9 ครั้งที่ 2	97
รูปที่ ข.19 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 10 ครั้งที่ 1	98
รูปที่ ข.20 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 10 ครั้งที่ 2	98
รูปที่ ข.21 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 12 ครั้งที่ 1	99
รูปที่ ข.22 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 12 ครั้งที่ 2	99
รูปที่ ข.23 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 13' ครั้งที่ 1	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ ข.24 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 13 ครั้งที่ 2	100
รูปที่ ข.25 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 14 ครั้งที่ 1	101
รูปที่ ข.26 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 14 ครั้งที่ 2	101
รูปที่ ข.27 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 15 ครั้งที่ 1	102
รูปที่ ข.28 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 15 ครั้งที่ 2	102
รูปที่ ข.29 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 16 ครั้งที่ 1	103
รูปที่ ข.30 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 16 ครั้งที่ 2	103
รูปที่ ญ.1 ขั้นตอนการทำ RSM	106
รูปที่ ญ.2 ขั้นตอนการทำ RSM	106
รูปที่ ญ.3 ขั้นตอนการทำ RSM	107
รูปที่ ญ.4 ขั้นตอนการทำ RSM	107
รูปที่ ญ.5 ขั้นตอนการทำ RSM	108
รูปที่ ญ.6 ขั้นตอนการทำ RSM	108
รูปที่ ญ.7 ขั้นตอนการทำ RSM	109
รูปที่ ฐ.1 ผลวิเคราะห์การทดลองสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ครั้งที่ 1	111
รูปที่ ฐ.2 ผลวิเคราะห์การทดลองสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ครั้งที่ 2	112

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดง เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ของปาล์มน้ำมัน ปี 2557-2558	1
ตารางที่ 1.2 ผลผลิตรวมของปาล์มน้ำมันในภาคใต้ รายจังหวัด ปี 2557-2558	3
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของก๊าซ CNG (จากผลการวิเคราะห์ของโรงงานแยกก๊าซชีวภาพ)	9
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	12
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ	12
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ	13
ตารางที่ 2.5 แสดงค่า LFL กับ UFL	17
ตารางที่ 2.6 แสดงค่า Wobbe Index ของก๊าซเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	18
ตารางที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของระบบกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบต่างๆ	25
ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติของไฮโดรเจน มีเทน และก๊าซโซลีน	27
ตารางที่ 3.1 แสดงชื่ออุปกรณ์ของการทดลองการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน Biohythane	30
ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติจากโรงแยกก๊าซ จังหวัดราชบุรี (ปตท.)	31
ตารางที่ 3.3 อัตราการไหล Biohythane ก่อนปรับสัดส่วน	31
ตารางที่ 3.4 อัตราการไหล Biohythane หลังปรับสัดส่วน	32
ตารางที่ 3.5 แสดงช่วง Code ระดับของตัวแปร	35
ตารางที่ 3.6 แสดงแผนการทดลองที่สภาวะต่างๆ	36
ตารางที่ 3.7 แสดงเงื่อนไขขอบเขตของตัวแปรอิสระ	37
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลในการลดปริมาณ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane ตามแผนการทดลองที่สภาวะต่างๆ	39
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์กับค่าทางสถิติของสมการทำนายความสัมพันธ์ของสมการที่ (4.2)	40
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงองค์ประกอบของก๊าซ ก่อนและหลังการทดลอง	47
ตารางที่ ค.1 แสดงช่วงการแปรค่าของตัวแปรอิสระ	74
ตารางที่ ง.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ $f_{0.10, v_1, v_2}$ ของการแจกแจงแบบเอฟ	77

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้เกิดวิกฤตการณ์การขาดแคลนพลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล พลังงานเหล่านี้เมื่อใช้แล้วทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและทำให้เกิดภาวะโลกร้อนอีกด้วย ดังนั้นมนุษย์จึงสนใจพลังงานทดแทนซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมหรือทำให้เกิดมลพิษน้อยที่สุด เช่นพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานจากก๊าซชีวภาพ เป็นต้น

ประเทศไทยเป็นแหล่งอุตสาหกรรมการเกษตร มีโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร แบ่งเป็นประเภทได้แก่ อุตสาหกรรมแป้ง อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเอทานอล อุตสาหกรรมยาง และอุตสาหกรรมปาล์ม น้ำมัน อุตสาหกรรมเหล่านี้จะมีการปล่อยน้ำเสียที่สามารถนำเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ ถ้าวรวมอุตสาหกรรมทั้งหมดมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 943.7 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี สามารถทดแทนน้ำมันเตาได้ 486 ล้านลิตร มีมูลค่าการประหยัดพลังงานเทียบเท่าน้ำมันเตาได้กว่า 3,900 ล้านบาท/ปี [1]

อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มในประเทศไทย จะเห็นได้ว่าประเทศไทยระหว่างปี 2557-2558 มีการเพิ่มพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากขึ้นทำให้ได้ผลผลิตมากขึ้น จากปี 2557 ได้ผลผลิต 12,503,447 ตัน เป็น 12,574,806 ตัน ในปี 2558 ได้ผลผลิตมากขึ้น 71,359 ตัน แต่ผลผลิตต่อเนื้อที่ให้ผล กลับลดลงจากปี 2557 ผลผลิตต่อเนื้อที่ให้ผล 3,014 กิโลกรัม ลดลงเหลือ 2858 กิโลกรัม ในปี 2558 ลดลง 156 กิโลกรัม [2]

ตารางที่ 1.1 แสดง เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ของปาล์มน้ำมัน ปี 2557-2558 [2]

จังหวัด	เนื้อที่ให้ผล (ไร่)		ผลผลิต (ตัน)		ผลผลิตต่อเนื้อที่ให้ผล (กก.)	
	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2557	ปี 2558
ภาคเหนือ	35,825	47,885	24,926	29,509	696	616
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	77,849	107,796	86,662	101,209	1,113	939
ภาคกลาง	378,530	439,091	959,541	1,062,068	2,535	2,419
ภาคใต้	3,655,964	3,805,817	11,432,318	11,382,020	3,127	2,991
รวมทั้งประเทศ	4,148,168	4,400,589	12,503,447	12,574,806	3,014	2,858

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มของประเทศไทย ประกอบด้วยเกษตรกรชาวสวนปาล์มขนาดเล็ก ประมาณ 7 หมื่นครอบครัว โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 38 โรงงาน และโรงกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 12 โรงงาน พื้นที่การเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจึงมีบทบาทสำคัญในด้านเศรษฐกิจ [3]

รูปที่ 1.1 พื้นที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ ปี 2558 แสดงให้เห็นว่าจังหวัดที่มีพื้นที่ให้ผลผลิตมากที่สุด คือ จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยคิดเป็นร้อยละ 31 ของพื้นที่ที่ปลูกปาล์มน้ำมันในภาคใต้ รองลงมาคือ จังหวัดกระบี่ โดยคิดเป็นร้อยละ 29 จังหวัดชุมพร เป็นลำดับที่สาม โดยคิดเป็นร้อยละ 25 จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นลำดับที่สี่ โดยคิดเป็นร้อยละ 10 และจังหวัดพังงาเป็นลำดับที่ห้า โดยคิดเป็นร้อยละ 5 ของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในภาคใต้ [4]



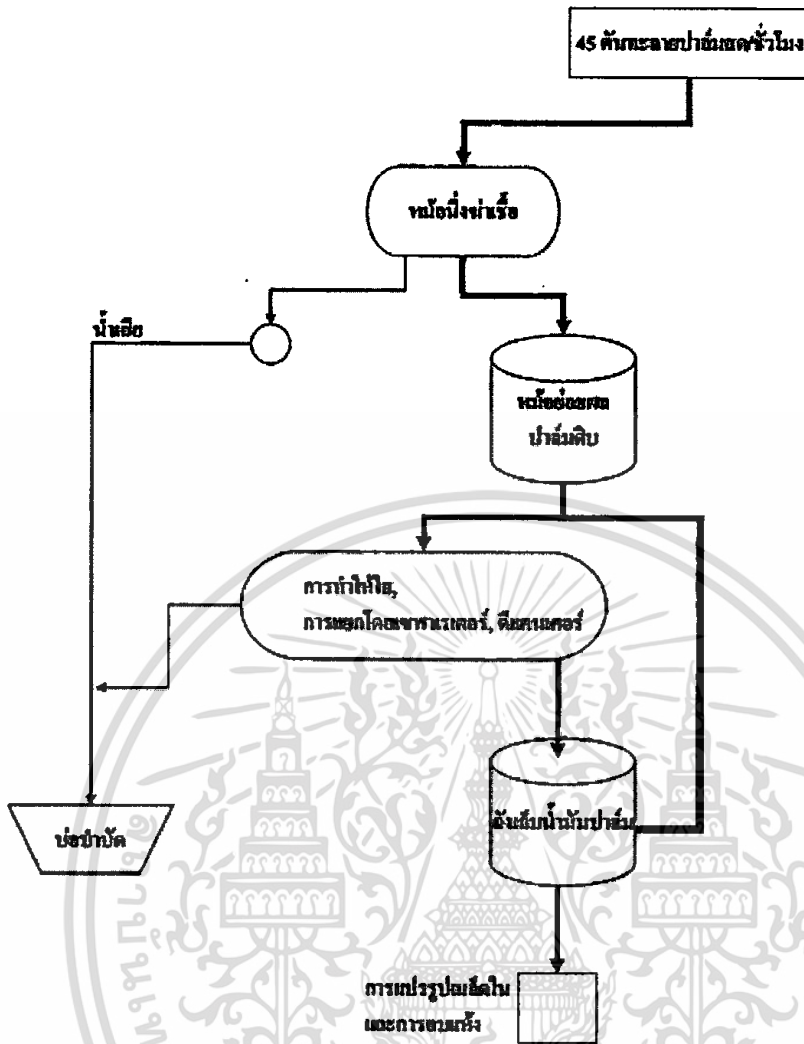
รูปที่ 1.1 พื้นที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ ปี 2558 [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 ผลผลิตรวมของปาล์มน้ำมันในภาคใต้ รายจังหวัด ปี 2557-2558 [2]

จังหวัด	ผลผลิต (ตัน)	
	ปี 2557	ปี 2558
ชุมพร	2,350,686	2,557,578
ระนอง	239,556	226,971
สุราษฎร์ธานี	3,116,075	3,165,582
พังงา	508,434	443,443
ภูเก็ต	3,846	4,000
กระบี่	3,362,307	3,029,025
ตรัง	461,776	423,796
นครศรีธรรมราช	938,813	1,012,829
พัทลุง	50,277	71,696
สงขลา	43,487	55,666
สตูล	253,416	275,114
ปัตตานี	30,036	32,011
ยะลา	6,428	8,056
นราธิวาส	67,181	76,253

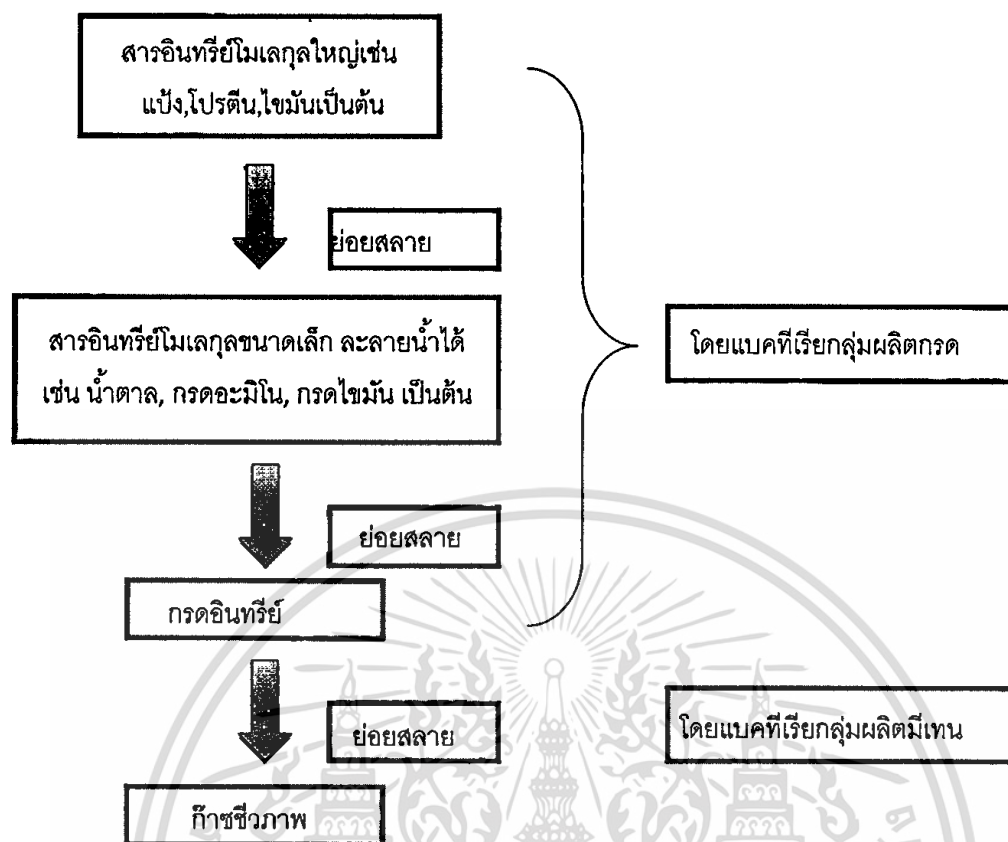
ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม จะมีน้ำเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก การเกิดน้ำเสียในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เครื่องจักรกลที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยได้แสดงการไหลของน้ำเสียจากการ อบให้ความร้อนโดยการนึ่ง และการทำให้ใสไปยังบ่อบำบัดน้ำเสีย ดังแสดงในรูปที่ 1.2 โดยเครื่องจักรที่สำคัญในกระบวนการคือ อุปกรณ์การนึ่ง ตามด้วยชุดแยกผลปาล์ม เครื่องย่อยและเครื่องบีบน้ำมัน จากส่วนนี้ ต่อมาน้ำมันปาล์มดิบจะเข้าห้องแยกน้ำมัน และทำให้น้ำมันปาล์มใสโดยวิธีการแยกในถังตกจม และดีแคนเตอร์และเครื่องเซพาเรเตอร์ จากนั้นน้ำมันปาล์มที่บริสุทธิ์จะนำไปเก็บที่ถังเก็บน้ำมันดิบ [5]



รูปที่ 1.2 การเกิดน้ำเสียจากเครื่องจักรในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม [5]

การเกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยน้ำเสียถูกปล่อยลงบ่อบำบัดเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกาศด้วยแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ให้กลายเป็นขนาดเล็กลง กลายเป็นกรดอะมิโน กรดไขมัน และ แบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน (Methane producing bacteria) จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก โดยจะเกิดก๊าซ มีเทน ( $\text{CH}_4$ ) คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) เป็นหลัก และก๊าซอื่น ในปริมาณน้อย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (ก๊าซไข่เน่า) และก๊าซแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) เป็นต้น [6] โดยขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพแสดงดังรูปที่ 1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ [6]

ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแบบไร้อากาศ จะได้ก๊าซหลายชนิดผสมอยู่ในก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ประมาณ 50-70 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ประมาณ 30-50 % ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และไอน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) [1]

การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น คือการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพ โดยการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพแล้วผลที่ได้คือ สามารถเพิ่มค่าความร้อนและความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพมีหลายวิธี อาทิเช่น วิธี water scrubber Technology , Pressure Swing Adsorption (PSA) Technology Chemical Adsorption Technology , Membrane Separation Technology วิธีการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพที่ได้กล่าวมา เป็นที่ยอมรับมาตรฐานของก๊าซชีวภาพ ในทวีปยุโรป ได้แก่ สหพันธรัฐเยอรมนี สวิตเซอร์แลนด์ และ สวีเดน [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยวิธี water scrubber Technology ก๊าซชีวภาพไหลกระทบกับน้ำภายในหอดูดซึม โดยอาศัยหลักการ การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำที่ความดันปกติและอุณหภูมิห้อง ( $\approx 25^{\circ}\text{C}$ ) แบบใช้น้ำเพียงครั้งเดียว โดยผลของงานวิจัยที่ได้จะสามารถหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในก๊าซไบโอไฮเทน

## 1.2 การตรวจเอกสาร

Shannon [7] กล่าวถึงวิธี Water scrubber เป็นวิธีที่ง่ายและถูกที่สุด ที่จะกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) โดยได้ทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพก๊าซ จากเดิมจากก๊าซมีเทน 55% ปรับปรุงคุณภาพของก๊าซเป็น 95% จนสามารถนำไปใช้กับยานพาหนะได้และสอดคล้องกับ Kapdi et al. [8] ได้ปรับปรุงคุณภาพก๊าซโดยใช้วิธี Water scrubber ผลที่ได้ก๊าซชีวภาพมีคุณภาพเทียบเท่ากับก๊าซธรรมชาติ Virendra et al. [9] ได้ออกแบบระบบ Water scrubber โดยใช้ความดันก๊าซที่ 1.5 , 3 และ 4 bars ใช้น้ำแรงดันสูง จากก๊าซชีวภาพ 40% ปรับปรุงคุณภาพของก๊าซเป็น 95% สอดคล้องกับ Bhattacharya et al. [10] ได้พัฒนากระบวนการ Water scrubber ให้มีก๊าซมีเทนเกือบ ( $\text{CH}_4$ ) เกือบ 100% โดยผลของการกำจัดก๊าซชีวภาพจะขึ้นอยู่กับขนาดของหอดูดซึม ความดันของก๊าซ biohythane อัตราการไหลของน้ำและความบริสุทธิ์ของน้ำที่ใช้ Khapre [11] ได้ออกแบบระบบ Water scrubber โดยมีการไหลของก๊าซ  $1.8 \text{ m}^3/\text{h}$  ที่ความดัน 0.48 บาร์ อัตราการไหลของน้ำ  $0.465 \text{ m}^3/\text{h}$  สามารถกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) จากทางเข้าที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ 30 % กำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงเหลือ 2 % งานวิจัยของ Ersin Uresin et al. [12] ได้จำลองก๊าซ  $\text{CH}_4$  ,  $\text{N}_2$  ,  $\text{H}_2\text{S}$  ,  $\text{CO}_2$  เข้าด้วยกัน และได้ศึกษาการกำจัด  $\text{H}_2\text{S}$  และ  $\text{CO}_2$  ด้วยวิธี water scrubber โดยการออกแบบถัง scrubber และใช้น้ำขนาดถึง 30 lite โดยทดลองที่อุณหภูมิของน้ำ 20 องศา อัตราการไหลของน้ำคงที่ที่  $2.5 \text{ l/h}$  และอัตราการไหลของก๊าซ ที่  $1.8 \text{ m}^3/\text{h}$  การวิจัยของ Dubey [13] สร้างหอดูดซึม 3 หอ หอแรกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร (ความสูง: 1.5 เมตร) หอที่สอง เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร (ความสูง: 10 เมตร) และ หอที่สาม เส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร (ความสูง: 10 เมตร) เพื่อดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ประมาณ (37-41%) การดูดซึมขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของก๊าซ biogas และ อัตราการไหลของน้ำ แต่ขนาดของหอดูดซึมมีผลน้อยต่อการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และ J. de Hullu et al. [14] ได้ทดลองที่หอดูดซึมโดยใช้น้ำเพียงครั้งเดียว ผลการทดลองพบว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ออกจากก๊าซ biogas ได้สูง แต่ข้อเสียคือใช้น้ำในปริมาณมาก ในบางประเทศ เช่น ประเทศเนเธอร์แลนด์ไม่เหมาะสมที่จะทำเพราะน้ำที่ใช้มีราคาแพงมาก เพราะฉะนั้น การวนน้ำกลับมาใช้ใหม่เป็นระบบที่เหมาะสมกว่า Huy Thanh Vo et al. [15] การนำก๊าซ  $\text{CO}_2$  ,  $\text{N}_2\text{O}$  ,  $\text{N}_2$  มาเปรียบเทียบกับในการฆ่าเชื้อโรค *Escherichia coli* ในน้ำเสีย โดยที่ ความดันของก๊าซ อยู่ระหว่าง 0.3 – 0.9 MPa อัตราการไหลของน้ำ 13 -15 ลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 20-22 องศาเซลเซียส ความสามารถในการฆ่าเชื้อ ขึ้นอยู่กับ น้ำหนักโมเลกุล, ความหนาแน่นของก๊าซ ความดันก๊าซ , อุณหภูมิ และการละลายในน้ำ ผลในการฆ่าเชื้อ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบคทีเรียของ CO<sub>2</sub> สูงกว่าของ N<sub>2</sub>O และ N<sub>2</sub> ความดัน ที่ ความดัน 0.7 MPa เวลาที่ใช้ 25 นาที ที่ อุณหภูมิห้อง คือ เงื่อนไขที่ดีที่สุดในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียเมื่อเชื้อ Escherichia coli มีเชื้อโรคเป้าหมาย โดยรวม CO<sub>2</sub> มีศักยภาพในการใช้เป็นยาฆ่าเชื้อของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำและปานกลางของเชื้อ Escherichia coli

### 1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากไบโอไฮเทนที่มีส่วนผสมของ CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> และ CH<sub>4</sub>

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงความสัมพันธ์ของ อัตราการไหลของ Biohythane , อัตราการไหลของน้ำและเวลา ที่มีอิทธิพล ต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ใน biohythane

1.4.2 สามารถนำข้อมูลการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปประยุกต์ใช้กับระบบการผลิตไบโอไฮเทนจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มแหล่งอื่นๆในอนาคต

### 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นการจำลองก๊าซชีวภาพผสมไฮโดรเจน โดยมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) , ก๊าซมีเทน (CNG) และก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ที่ได้จากการซื้อขายทางการค้า

1.5.2 ขนาดของถัง Water scrubber ไม่เกิน 20 ลิตรน้ำ

1.5.3 ศึกษาผลกระทบระหว่างการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) โดยมีตัวแปร ดังนี้ เวลาการทดลอง, อัตราการไหลของก๊าซ, อัตราการไหลของน้ำ (อุณหภูมิห้อง  $\approx$  25 °C)

1.5.4 ระบบที่ใช้ในการทดลองเพื่อกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) เป็นระบบน้ำทิ้ง (Single phase)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการทำงาน

#### 2.1 ก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas) คือปิโตรเลียมชนิดหนึ่งที่มีสถานะเป็นก๊าซ ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานสะอาด เพราะมีคุณสมบัติหลายประการที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและสามารถเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ ปัจจุบันได้มีการนำก๊าซธรรมชาติมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง โดยส่วนใหญ่เชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์เพื่อการเดินทางหรือการขนส่ง เป็นต้น การค้นพบและนำก๊าซธรรมชาติมาใช้ประโยชน์เกิดขึ้นบนโลกนี้มานานนับศตวรรษ และทุกวันนี้ก็ยังคงมีการสำรวจ ค้นหา แหล่งก๊าซธรรมชาติใหม่ๆ กันอย่างต่อเนื่อง [16]

ก๊าซธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่ง มีสูตรทางเคมีเป็น  $C_nH_{2n+2}$  เมื่อ  $n$  เป็นเลขจำนวนเต็ม มีค่าตั้งแต่ 1 ขึ้นไป โดยทั่วไปก๊าซธรรมชาติ จะประกอบด้วย ก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) ประมาณร้อยละ 70 ขึ้นไป ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของแหล่งก๊าซธรรมชาติแต่ละแหล่งเป็นสำคัญ เมื่อนำมาเผาไหม้จะเป็นเชื้อเพลิงสะอาดและส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันหรือถ่านหิน

##### 2.1.1 ส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติที่ถูกเจาะขึ้นมาจากแหล่งธรรมชาติหรือหลุมผลิตปิโตรเลียม จะประกอบด้วย ก๊าซธรรมชาติและสิ่งเจือปนต่างๆ ซึ่งมีทั้งที่เป็นสารไฮโดรคาร์บอนและไม่เป็นสารไฮโดรคาร์บอนผสมกันอยู่ โดยแต่ละแหล่งที่พบก๊าซธรรมชาติจะมีสัดส่วนขององค์ประกอบดังกล่าวในปริมาณที่แตกต่างกัน

-ส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติที่เป็นสารไฮโดรคาร์บอน ก๊าซพวกนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีสถานะเป็นก๊าซ (Gas phase) ซึ่งมีปริมาณมากกว่าส่วนที่มีสถานะเป็นไอ (Vapour phase) ส่วนที่มีสถานะเป็นก๊าซได้แก่ มีเทน อีเทน ( $C_2H_6$ ), โพรเพน ( $C_3H_8$ ), บิวเทน ( $C_4H_{10}$ ), ไอโซบิวเทน (isobutane) เป็นต้น โดยส่วนใหญ่จะมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 70-90 แล้วแต่แหล่งที่พบ ส่วนที่อยู่ในสถานะไอ ได้แก่ นอร์แมลเพนเทน (n-pentane), ไอโซเพนเทน (i-pentane), นอร์แมลเฮกเซน (n-hexane), นอร์แมลเฮปเทน (n-heptane), และนอร์แมลออกเทน (n-octane) เป็นต้น

-ส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติที่ไม่เป็นสารไฮโดรคาร์บอน ก๊าซเหล่านี้ถือเป็นสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในก๊าซธรรมชาติเสมอ แต่ในปริมาณที่ไม่มากนัก เช่น ก๊าซไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ฮีเลียม และไอน้ำ เป็นต้น

### 2.1.2 คุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติ

คุณสมบัติทั่วไปที่เหมือนกันคือ

-มีคุณสมบัติเป็นสารไฮโดรคาร์บอน เนื่องจากเกิดจากการถล่มของซากสิ่งมีชีวิตนับล้านปี  
-โดยปกติจะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่เพื่อเป็นการเตือนภัยให้รู้ในกรณีที่ก๊าซเกิดจากรั่วไหล จึงมีการเติมกลิ่นเข้าไป

-เบากว่าอากาศ มีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.7-0.8 ทำให้สามารถลอยขึ้นไปสู่ที่สูงได้  
เมื่อเกิดการรั่วไหล ไม่เกิดการสะสมบนพื้นราบ

-มีความสามารถในการติดไฟ ช่วงการติดไฟที่ร้อยละ 5-15 ของปริมาตรในอากาศ

-มีคุณสมบัติในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ไม่มีเขม่า จึงถือเป็นเชื้อเพลิงสะอาด

### 2.1.3 ผลกระทบจากการแยกก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซที่ใช้ในงานวิจัยประกอบไปด้วยก๊าซธรรมชาติ ที่ได้จากโรงแยกก๊าซ จังหวัดราชบุรี มีส่วนประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของก๊าซ CNG (จากผลการวิเคราะห์ของโรงงานแยกก๊าซชีวภาพ)

ส่วนประกอบ	อัตราส่วน
Methane CH <sub>4</sub> (% mole)	74.528
Ethane C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (% mole)	2.414
Propane C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (% mole)	0.694
Isobutane i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (% mole)	0.150
n-Butane n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (% mole)	0.170
Isopentane i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (% mole)	0.070
n-Pentane n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (% mole)	0.039
Hexanes C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> (% mole)	0.072
Carbon dioxide CO <sub>2</sub> (% mole)	6.242
Nitrogen N <sub>2</sub> (% mole)	15.615
Specific gravity (SG.)	0.706

\* ผลการวิเคราะห์ของโรงงานแยกก๊าซจังหวัดราชบุรี วันที่ 8/02/2558

ก๊าซธรรมชาติเมื่อนำมาผ่านกระบวนการแยกประเภท ตามคุณสมบัติจุดเดือดของสารไฮโดรคาร์บอนประเภทต่างๆแล้ว ผลกระทบที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ของหอกลั่นมีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3.1 ก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซที่ได้จากทอกลันมีเทน จะถูกขนส่งนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม และนำไปอัดใส่ถังด้วยความดันสูง เรียกว่าก๊าซธรรมชาติอัด (compressed natural gas,CNG) สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ หรือที่มักจะถูกเรียกว่า ก๊าซธรรมชาติสำหรับรถยนต์ (natural gas for vehicles,NGV)

### 2.1.3.2 ก๊าซอีเทน

ก๊าซอีเทน ( $C_2H_6$ ) เป็นก๊าซที่ได้จากทอกลันอีเทน ส่วนใหญ่ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเคมีขั้นต้น ใช้ผลิตเป็นเม็ดพลาสติก เส้นใยพลาสติกชนิดต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการแปรรูปเป็นวัสดุ อุปกรณ์ อย่างอื่นต่อไป

### 2.1.3.3 ก๊าซโพรเพนและก๊าซบิวเทน

ก๊าซโพรเพน ( $C_3H_8$ ) และก๊าซบิวเทน ( $C_4H_{10}$ ) สำหรับก๊าซโพรเพนสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเคมีขั้นต้นได้เช่นเดียวกับก๊าซอีเทน และหากนำเอาก๊าซโพรเพนกับก๊าซบิวเทนมาผสมกันและอัดใส่ถังจะกลายเป็นก๊าซปิโตรเลียมเหลว สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับงานอื่นๆ ได้เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ ใช้สำหรับการเชื่อมโลหะ และรวมถึงการนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทได้

### 2.1.3.4 ไฮโดรคาร์บอนเหลว

ไฮโดรคาร์บอนเหลว (Heavier hydrocarbon) เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ได้จากการแยกสารไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีสถานะเป็นก๊าซตั้งแต่อยู่บนแท่นผลิต หรือเรียกว่า คอนเดนเสท (Condensate) สามารถนำไปเป็นน้ำมันสำเร็จรูปได้

### 2.1.3.5 ก๊าซโซลีนธรรมชาติ

ก๊าซโซลีนธรรมชาติ เป็นสารไฮโดรคาร์บอนเหลวซึ่งหลุดไปกับสารไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซ แต่เมื่อผ่านเข้าไปสู่กระบวนการแยกก๊าซจะถูกแยกกลับออกมาในทอกลันโพรเพน ก๊าซโซลีนธรรมชาติมักถูกส่งไปยังโรงกลั่นน้ำมันเพื่อใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์น้ำมันสำเร็จรูปเช่นเดียวกับคอนเดนเสท นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมบางประเภท

### 2.1.3.6 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสิ่งเจือปนในก๊าซธรรมชาติซึ่งจะถูกแยกออกตั้งแต่ตอนเริ่มต้นของกระบวนการแยกก๊าซ การนำไปใช้จะถูกทำให้อยู่ในสภาพของแข็งที่เรียกว่า น้ำแข็งแห้ง ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมถนอมอาหาร อุตสาหกรรมน้ำอัดลมและเบียร์ เป็นวัตถุดิบสำคัญในการทำขนมเค้ก และใช้สร้างเป็นมหานครในการแสดงคอนเสิร์ต

#### 2.1.4 ประโยชน์ของก๊าซธรรมชาติ [17]

ประโยชน์ของก๊าซธรรมชาติสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

2.1.4.1 ใช้เป็นเชื้อเพลิง สามารถใช้ก๊าซธรรมชาติได้โดยตรง ด้วยการใช้เป็นเชื้อเพลิงในรูปแบบต่างๆ ดังนี้

- 1) ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า
- 2) ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม
- 3) ใช้เป็นเชื้อเพลิงในระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Co-generation)
- 4) ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ ที่เรียกว่า ก๊าซธรรมชาติสำหรับรถยนต์

(NGV)

2.1.4.2 เป็นวัตถุดิบในการผลิต ผลิตภัณฑ์ต่างๆ หลังผ่านกระบวนการแยกในโรงแยกก๊าซ เพราะในตัวเนื้อก๊าซธรรมชาติมีสารประกอบที่เป็นประโยชน์อยู่มากมาย เมื่อนำมาผ่านกระบวนการที่โรงแยกก๊าซ แล้วก็จะได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ มาใช้ประโยชน์ได้

## 2.2 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ หรือที่เรียกกันว่า ไบโอดีแก๊ส (Biogas) หรือไบโอมีเทน (Bio methane) หมายถึง ก๊าซที่ผลิตได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น น้ำเสีย ชีวมวล และมูลสัตว์ ด้วยจุลินทรีย์ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) [18]

### 2.2.1 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของก๊าซชีวภาพ [18]

ตารางที่ 2.2 แสดงสัดส่วนองค์ประกอบแต่ละชนิดในก๊าซชีวภาพ โดยจะเห็นว่าโดยทั่วไปแล้ว ก๊าซชีวภาพจะมีปริมาณก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) อยู่ประมาณร้อยละ 50-80 ส่วนที่เหลือเป็นสิ่งปนเปื้อนได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) ออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ไอน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) และสารประกอบอื่นๆ เช่น ซิลอกเซน (Siloxanes) ทั้งนี้ ชนิดและสิ่งปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพจะขึ้นอยู่กับแหล่งหรือวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ในส่วนของคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพแสดงดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ [18]

ชนิดของก๊าซ	อัตราส่วน
Methane (CH <sub>4</sub> )	50–80% vol.
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	20–50% vol.
Hydrogen sulfide (H <sub>2</sub> S)	50-5000 ppm
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	1-4% vol.
Hydrogen (H <sub>2</sub> )	0–1 ppm
Oxygen (O <sub>2</sub> )	< 1% vol.
Ammonia (NH <sub>3</sub> )	0–300 ppm
Humidity (H <sub>2</sub> O)	2-5% wt (อิมตัว)

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ [19]

คุณสมบัติ	ปริมาณ
Calorific value	17,000 (kJ/kg)
Density at 1 atm and 15 °C	1.2 (kg/m <sup>3</sup> )
Flame speed	0.25 (m/s)
Stoichiometric A/F	5.7 (kg of air/kg of fuel)
Flammability limits	7.5–14 (vol.% in air)
Research octane number	130
Auto-ignition temperature	650 (°C)

ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรมีค่าความร้อนประมาณ 21 เมกกะจูล มีค่าความร้อนเทียบเท่า ก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม น้ำมันเบนซิน 0.67 ลิตร น้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ [20]

คุณสมบัติของก๊าซ	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
มวลโมเลกุล (kg/mole)	16.04	44.01	34.08
ความหนาแน่น (@ 1.013 bar) (kg/m <sup>3</sup> )	0.68	1.87	1.45
Critical Temperature (°C)	-82.7	31	100
Critical Pressure (bar)	45.96	73.825	89.37
Compressibility Factor (Z) (@ 1.013 bar)	0.998	0.9942	0.9915
Sp.Gr. (เทียบกับอากาศ = 1) (@ 1.013 bar)	0.55	1.521	1.189
Specific volume (@ 1.013 bar) (m <sup>3</sup> /kg)	1.48	0.547	0.699
Heat capacity at constant pressure (Cp) (@ 1.013 bar) (kJ/mole.K)	0.035	0.037	0.034
Heat capacity at constant volume (Cv) (@ 1.013 bar) (kJ/mole.K)	0.027	0.028	-
Ratio, Cp/Cv (@ 1.013 bar)	1.3054	1.2938	-

2.2.2 การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพ [18]

การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์สามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ

2.2.2.1 ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับให้ความร้อน (Heat generation) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งถือเป็นรูปแบบการใช้งานที่แพร่หลายมาก เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายต่ำ



รูปที่ 2.1 ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับให้ความร้อน [21]

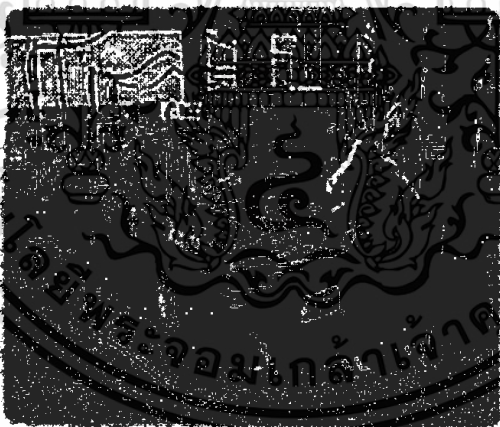
2.2.2.2 ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตความร้อนและไฟฟ้าแบบ Cogeneration ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยก๊าซชีวภาพจะถูกเผาในเตาเผาและความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้สำหรับผลิตไฟฟ้า จากนั้นพลังงานความร้อนส่วนที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าจะถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตความร้อนและไฟฟ้าแบบ Cogeneration [21]

2.2.2.3 ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับก๊าซธรรมชาติ (NGV) ดังนั้น หากได้รับการปรับปรุงคุณภาพโดยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อให้ได้สัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนสูงขึ้น (เพิ่มค่าความร้อน) รวมถึงกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ออกเพื่อให้มีคุณภาพที่เทียบเท่ากับก๊าซ NGV ก๊าซชีวภาพอัด (Compressed biogas) ก็สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้ก๊าซ NGV ได้



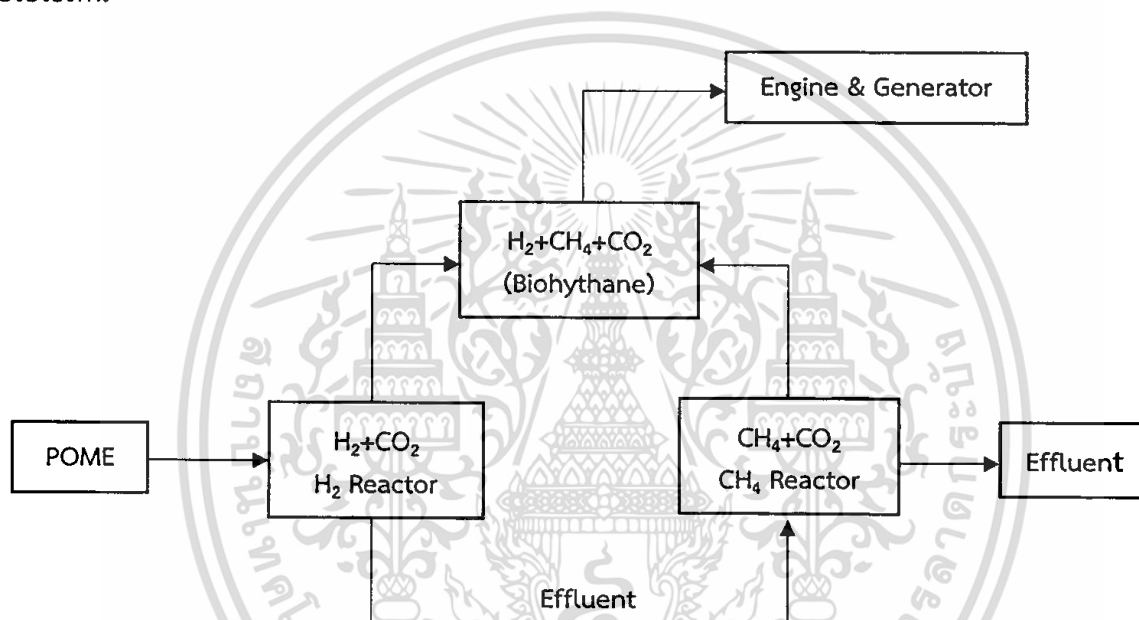
รูปที่ 2.3 ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ [21]

### 2.2.3 ไบโอดีเทน (Biohythane) หรือก๊าซผสม [22]

กระบวนการผลิตไบโอดีเทน (Biohythane) จากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยระบบก๊าซชีวภาพแบบดั้งเดิมที่ใช้กับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบางอย่างมีปัญหาในการดำเนินการหลายอย่าง เช่น การเกิดโฟม ความไม่มีเสถียรภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ เกิดสถานะไม่สมดุลในถังปฏิกรณ์ได้ง่าย และทำให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพลดลง มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนน้อยระหว่าง 45 ถึง 55 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้การนำก๊าซไปใช้เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และส่งผลกระทบต่อการใช้งานไปใช้ประโยชน์ต่างๆ นอกจากนั้นการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพที่ประกอบด้วยมีเทนอย่างเดียวมีประสิทธิภาพเกี่ยวเนื่องพลังงานต่ำ (จากน้ำเสีย) และไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อย จากข้อจำกัดดังกล่าวจึงได้มีการศึกษากระบวนการผลิตไฮโดรเจนและมีเทนโดยใช้ระบบไร้อากาศสองขั้นตอนที่อุณหภูมิสูง [23] โดยกระบวนการผลิตไบโอไฮเทนแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกของการผลิตจะได้ก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยควบคุมค่า pH ระหว่าง 4.0 ถึง 5.5 เพื่อควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทน ขั้นตอนนี้ใช้ระยะเวลาพักกักเก็บน้ำ (HRT) สั้นเพียง 1 ถึง 3 วันสามารถผลิตไฮโดรเจนแบบอัตราสูงได้ ในขั้นตอนที่สองนั้น กรดอินทรีย์จากกระบวนการผลิตไฮโดรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นมีเทนดังแสดงในรูปที่ 2.4 ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนจะได้ก๊าซผสมระหว่าง มีเทน 50-60 % คาร์บอนไดออกไซด์ 35-45 % และไฮโดรเจน 5-10 % ก๊าซผสมนี้เรียกว่า

ไบโอไฮเทน



รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิต Biohythane แบบ 2 ขั้นตอน [23]

### 2.2.3.1 การนำ Biohythane ไปประยุกต์ใช้ [22]

จากการศึกษาเอกสาร ในช่วงปี ค.ศ.1990 ถึง 2010 สามารถแบ่งงานวิจัยออกเป็น 4 ประเด็นหลักคือ 1) การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์โดยตรง 2) การปรับปรุงประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์โดยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพ 3) การปรับปรุงประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์โดยการผสมไฮโดรเจนเข้ากับมีเทน (Hythane) และ 4) การปรับปรุงประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์โดยการผสมไฮโดรเจนเข้ากับก๊าซชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.4 สมบัติของก๊าซผสม

### 2.2.4.1 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity ; S.G) [6]

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity ; S.G) ของก๊าซโดยทั่วไปจะเป็นการเทียบความหนาแน่นของก๊าซผสมต่อความหนาแน่นของอากาศ ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน เมื่อกำหนดให้ก๊าซชีวภาพมีพฤติกรรมเป็นก๊าซอุดมคติ สามารถหาค่าความถ่วงจำเพาะได้ดังสมการ (2.1) [24]

$$G = \sum_{i=1}^n x_i g_i \quad (2.1)$$

เมื่อ  $(g_i)$  คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซ  $i$

$(x_i)$  คือ เศษส่วนโมลของก๊าซ  $i$

เศษส่วนโมลของก๊าซ (mole fraction,  $x_i$ ) เป็นอัตราส่วนระหว่างโมลของสารประกอบ ( $N_i$ ) กับเลขโมลทั้งหมดของสารผสม ( $N$ ) หรือ เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นโดยโมลของสารประกอบ ( $n_i$ ) กับความเข้มข้นโมลของสารผสมทั้งหมด ( $n$ ) และสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างเศษส่วนโมลได้จากสมการที่ 2.2

$$X_i = \frac{N_i}{N} = \frac{n_i}{n} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $N_i$  คือ จำนวนโมลของสารประกอบ  $i$

$N$  คือ จำนวนโมลทั้งหมดของสารผสม

$n_i$  คือ ความเข้มข้นโดยโมลของสารประกอบ  $i$

$n$  คือ ความเข้มข้นโดยโมลของสารผสมทั้งหมด

### 2.2.4.2 ขีดจำกัดการติดไฟ (flammability limit) [6]

ขีดจำกัดการติดไฟ หมายถึง ความเข้มข้นของเชื้อเพลิงในอากาศที่ติดไฟหรือระเบิดได้ ซึ่งจะอยู่ระหว่างความเข้มข้นต่ำสุดของเชื้อเพลิงในอากาศที่ติดไฟหรือระเบิดได้ (Lower Flammability Limit ; LFL หรือ Lower Explosive Limit ; LEL) กับความเข้มข้นสูงสุดของเชื้อเพลิงในอากาศที่ติดไฟหรือระเบิดได้ (Upper Flammability Limit ; UFL หรือ Upper Explosive Limit ; UFL) สำหรับก๊าซมีเทน LFL กับ UFL จะอยู่ระหว่าง 5-15 % (v/v) [ ] ขีดจำกัดการติดไฟของเชื้อเพลิงก๊าซผสมสามารถคำนวณได้จากสมการของ Le Chatelier's modification of mixture law ดังสมการที่ 2.3 [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$FL = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{P_i}{FL_i} \right)} \quad (2.3)$$

โดย FL คือ limit of flammability ของก๊าซผสม  
 FL<sub>i</sub> คือ limit of flammability ของเชื้อเพลิงชนิด i  
 P<sub>i</sub> คือ เปอร์เซนต์ของเชื้อเพลิงชนิด i

ตารางที่ 2.5 แสดงค่า LFL กับ UFL [25]

Gas	LFL (% (v/v))	UFL (% (v/v))
Ammonia	15	28
Ethanol	3.3	19
Gasoline	1.2	7.1
Methane	5	15
Propane	2.1	9.5

#### 2.2.4.3 ค่าความร้อน (heating value)

ค่าความร้อนที่สภาวะปกติของเชื้อเพลิงผสมที่สามารถคำนวณได้จากความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซไฮโดรคาร์บอนดังสมการที่ 2.4 [24]

$$H = \sum_{i=1}^n X_i H_i \quad (2.4)$$

โดย H<sub>i</sub> คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชนิด i  
 X<sub>i</sub> คือ เศษส่วนโมลของก๊าซ i

#### 2.2.4.4 Wobbe Index (WI) [6]

Wobbe Index หรือ Wobbe Number เป็นสมบัติของเชื้อเพลิง ที่บ่งบอกคุณลักษณะของการเผาไหม้ โดยบอกถึงพลังงานที่ส่งเข้าหัว Burner หรือ Gas Injector ซึ่งจะแตกต่างจากค่าความร้อน (Heating Value) ตรงที่ Wobbe Index นั้นจะเกี่ยวข้องกับการไหลของเชื้อเพลิงผ่าน Nozzle หรือ Injector ของหัว Burner ก๊าซที่ค่า Wobbe Index เท่ากันสามารถใช้ทดแทนกันได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ ซึ่งค่า Wobbe Index สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้ (2.5) [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$WI = \frac{H}{\sqrt{P_{gas}/P_{air}}} = \frac{H}{\sqrt{S}} \quad (2.5)$$

- เมื่อ H คือ ค่าความร้อนของก๊าซ ( $J/m^3$ )  
 S คือ ความถ่วงจำเพาะของก๊าซ  
 $P_{gas}$  คือ ความหนาแน่นของก๊าซที่ความดัน 1 บรรยากาศอุณหภูมิ 273 K ( $kg/m^3$ )  
 $P_{air}$  คือ ความหนาแน่นของอากาศที่ความดัน 1 บรรยากาศอุณหภูมิ 273 K ( $kg/m^3$ )

ตารางที่ 2.6 แสดงค่า Wobbe Index ของก๊าซเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ [26]

เชื้อเพลิง	Upper Index ( $MJ/m^3$ )	Lower Index ( $MJ/m^3$ )
ไฮโดรเจน	48.23	40.65
มีเทน	53.28	47.91
อีเทน	68.19	62.47
โพรเพน	81.07	74.54
ก๊าซธรรมชาติ	53.71	48.52
LPG	86.84	79.94
CO	12.8	12.8

#### 2.2.4.5 เลขมีเทน (methane number , MN) [27]

เลขมีเทน (methane number , MN) คือ ค่าวัดความต้านทานการน็อคของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง โดยเลขมีเทนที่ 100 คือ ต้านทานมากที่สุด และเลขมีเทนที่ 0 คือ ค่าต้านทานน้อยที่สุด ตามมาตรฐานร่างใหม่ของ CARB เลขมีเทนคำนวณได้จากสมการที่ 2.6

$$MN = 1.624 \times (MON) - 119.1 \quad (2.6)$$

$$MON = -406.14 + 508.04(RHCR) - 173.55(RHCR)^2 + 20.17(RHCR)^3 \quad (2.7)$$

$$RHCR = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\text{Volume\% of component}}{100} \right) \times \text{Number of Hydrogen Atoms in component } i}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\text{Volume\% of component}}{100} \right) \times \text{Number of Carbon Atoms in component } i} \right) \quad (2.8)$$

- ซึ่ง MON คือ Motor Octane Number เลขออกเทนเครื่องยนต์  
 RHCR คือ (Reactive Hydrogen Carbon Ratio) อัตราส่วนของไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.5 การพิจารณาเพื่อปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ [6]

องค์ประกอบสำคัญในก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงคือ ก๊าซมีเทนเป็นหลัก สำหรับองค์ประกอบอื่นๆในก๊าซชีวภาพล้วนเป็นสิ่งเจือปนที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งมีผลเสียต่อการใช้งานทั้งสิ้น เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่ได้จากการบำบัดน้ำเสีย มีความชื้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เจือปนมากเกินไป อุปกรณ์จะสามารถทำงานได้อย่างปกติ

ปัญหาที่พบเมื่อใช้ก๊าซชีวภาพที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพเป็นเชื้อเพลิงที่หิวเผาสำหรับหม้อน้ำหรือหม้อน้ำมันร้อน เช่น การจุดเตาไม่ติด การระเบิดในห้องเผาไหม้ขณะจุดเตาหรือในขณะที่เดินเครื่อง เปลวไฟกระพือและดับในขณะที่กำลังเร่งไฟ การระเบิดที่ปล่องไอเสีย การสูญเสียความร้อนไปอย่างมหาศาลไปกับอุณหภูมิปล่องไอเสียที่ร้อนจัด การเกิดความร้อนเฉพาะจุดที่ผิวสัมผัสไฟในห้องเผาไหม้ กำลังผลิตของหม้อน้ำหรือหม้อน้ำมันร้อนไม่ได้ตามข้อกำหนด (Specification) ของเครื่องจักร อุปกรณ์ทุกชนิดที่สัมผัสกับก๊าซชีวภาพชำรุดง่ายและมีอายุการใช้งานสั้น การเกิดไฟไหม้จากการแตกตัวของระบบสูบล้างก๊าซ เป็นต้น

ปัญหาที่พบเมื่อใช้ก๊าซชีวภาพที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เช่น สตาร์ทเครื่องไม่ติดหรือติดยาก เครื่องยนต์ไม่มีกำลังอัด น้ำมันเครื่องสกปรกมากและอายุการใช้งานสั้น ห้องเผาไหม้สกปรกมาก ปล่องไอเสียร้อนจัด วาล์วไอเสียไหม้และอายุการใช้งานสั้นลง เครื่องยนต์ได้ไม่ต่อเนื่อง ต้องหยุดเพื่อซ่อมบำรุงบ่อย เป็นต้น

สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ล้วนเกิดจากสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซเฉื่อยที่ไม่ให้พลังงานความร้อนในการเผาไหม้ เป็นก๊าซที่ทำให้ค่าความร้อนในก๊าซชีวภาพลดลงจนเป็นเชื้อเพลิงที่ด้อยคุณภาพ ก๊าซชีวภาพจะติดไฟยากขึ้นและลุกไหม้ช้าลงจนเป็นเหตุให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่หมดภายในห้องเผาไหม้ เป็นก๊าซที่รับความร้อนจากการเผาไหม้และพาความร้อนไปทิ้งทางปล่องไอเสีย เมื่อก๊าซนี้รวมตัวกับน้ำหรือความชื้นจะเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ( $H_2CO_3$ ) ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนวัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่สัมผัสกับก๊าซชีวภาพ เช่น ทำให้เกิดการกัดกร่อนของถังก๊าซ เป็นต้น

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า เมื่อรวมตัวกับน้ำหรือความชื้นจะเกิดเป็นกรดไฮโดรซัลฟิวริก (Hydrosulfuric) ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรงต่อวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่สัมผัสกับก๊าซชีวภาพ เมื่อมีการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จะเกิดเหมือก เป็นต้น

ความชื้นหรือละอองน้ำ ทำให้เกิดการสะสมของน้ำในท่อที่ตกห้องข้างหรือบริเวณจุดต่ำสุดของท่อส่งก๊าซทำให้ปิดกั้นการไหลของก๊าซชีวภาพ ช่วยให้เกิดเหมือก ตะกอน โฟม ทำให้อุปกรณ์ความปลอดภัยอุดตัน ทำให้เกิดกรดคาร์บอนิกและกรดอันเกิดจากการแตกตัวของซัลไฟด์อ็อกไซด์ ทำให้เชื้อเพลิงจุดไม่ติด หรือติดแต่กระพือดับ เป็นต้น เพื่อให้การนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานกับหัวเผาและเครื่องยนต์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถใช้งานต่อเนื่องอย่างปลอดภัย จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพและควบคุมให้มีคุณภาพสม่ำเสมอเหมาะสมกับการใช้งานทุกสภาวะ

### 2.2.5.1 การปรับปรุงก๊าซชีวภาพ

#### 1) การกำจัดความชื้นหรือละอองน้ำ [6]

น้ำในก๊าซชีวภาพที่เป็นละอองน้ำเมื่อไหลผ่านท่อก๊าซและอุปกรณ์ดักละอองน้ำ จะถูกแยกออกจากก๊าซชีวภาพ แต่ยังคงมีน้ำที่อยู่ในรูปความชื้นที่ต้องถูกกำจัดก่อนที่จะนำก๊าซไปใช้งาน ไม่เช่นนั้นจะมีผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ หรือทำให้เกิดคราบหรือเมือกในอุปกรณ์ความปลอดภัยต่างๆ เป็นต้นเหตุของอุบัติเหตุได้ การกำจัดความชื้นในก๊าซชีวภาพทำได้โดยเครื่องกำจัดความชื้นที่ใช้หลักการลดอุณหภูมิของก๊าซ มีลักษณะของการลดอุณหภูมิทำได้ใน 2 ลักษณะ คือ

- Indirect Heat Exchanger : การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซชีวภาพกับน้ำเย็น (Chiller)
- Direct Heat Exchanger : การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซชีวภาพกับสารทำความเย็น (Refrigerant)

#### 2) การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) [6]

ก๊าซไฮโดรซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ เมื่อสัมผัสน้ำหรือไอน้ำจะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดซัลฟูริก ( $H_2O_4$ ) ซึ่งกัดกร่อนโลหะรวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ ได้ ดังนั้นการกำจัดก๊าซไฮโดรซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพเป็นการลดมลพิษที่จะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม และเป็นการยืดอายุของอุปกรณ์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพอีกด้วย การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ

- กระบวนการแบบแห้ง เป็นกระบวนการที่อาศัยหลักการของการดูดซับ (Adsorption) โดยสารดูดซับ (Adsorbent) ซึ่งก๊าซไฮโดรซัลไฟด์จะถูกจับในรูพรุน (Pore) ของสารดูดซับ หรือหลังจากถูกจับแล้ว อาจเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ ในประเทศไทยจะนิยมใช้ฝอยเหล็กที่เป็นสนิมและ Hydrate Lime เป็นตัวดูดซับ และเกิดปฏิกิริยาเคมี
- กระบวนการแบบเปียก เป็นกระบวนการดูดซึม (Absorption) อาศัยหลักการของการละลายลงไปในสารละลายที่ทำหน้าที่เป็นสารดูดซึม (Absorbent) ที่ไหลผ่านกัน และเมื่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายลงไปในสารดูดซึมแล้ว อาจเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นกำมะถัน หรือไม่เกิดปฏิกิริยาก็ได้ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีทั้งที่เป็นปฏิกิริยาเคมี (Chemical reaction) หรือเกิดปฏิกิริยาทางชีววิทยา (Biological reaction) จากจุลินทรีย์ที่มีในระบบ สำหรับวิธีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีหลายวิธี เช่น Bioscrubber Technology เทคโนโลยีการเติมอากาศ Biofilter Technology และ Biotrickling Filter Technology

#### 3) การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [6]

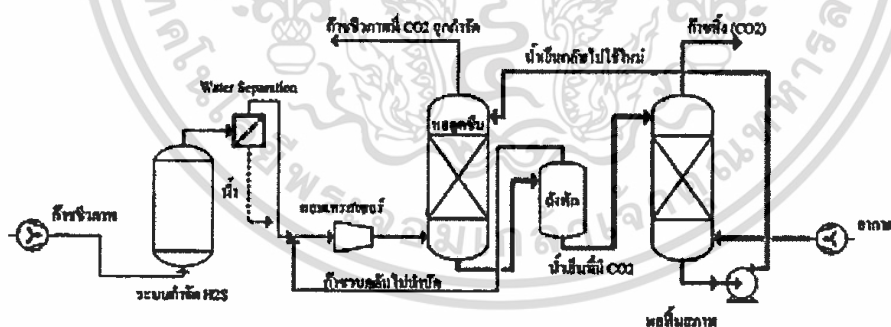
การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะเพิ่มค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพให้สูงขึ้น หรือเป็นการควบคุมความเข้มข้นมีเทนให้ได้ตามความต้องการ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ก๊าซชีวภาพไปจน สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของยานพาหนะหรือทดแทนก๊าซธรรมชาติ รวมทั้งยังลดความเป็นกรด (เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำจะเป็นกรดอ่อน) ซึ่งในขณะนี้ได้มีประเทศในทวีปยุโรป 3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศ ได้แก่ สวิตเซอร์แลนด์ เยอรมนี และสวีเดนที่ได้มีการยอมรับมาตรฐานของก๊าซชีวภาพดังกล่าว ซึ่งประกอบไปด้วยเทคโนโลยีต่างๆ ได้แก่

- Water Scrubber Technology

เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการอัดก๊าซชีวภาพผ่านหอดูดซึมด้วยน้ำ ในการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใช้หลักการด้านความสามารถในการละลายที่ดีของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ เทคโนโลยีมี 2 แบบหลักๆ คือ ระบบที่ใช้ น้ำครั้งเดียวและระบบที่มีการฟื้นฟูสภาพน้ำและนำกลับมาใช้ใหม่ องค์ประกอบของระบบจะมีหอดูดซึม และหอ Stripper

สำหรับกระบวนการที่มีการวนน้ำกลับมาใช้ใหม่นั้น มีกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยก๊าซชีวภาพเมื่อผ่านระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้ว เมื่อแยกละอองน้ำออกจะถูกอัดด้วยคอมเพรสเซอร์ให้มีความดันสูงประมาณ 13 บาร์เกจ ก๊าซที่มีความดันสูงจะเข้าหอดูดซึมทางด้านล่างและจะไหลสวนทางกับน้ำ ก๊าซที่ถูกกำจัด  $\text{CO}_2$  และมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ออกจากระบบทางด้านบน ส่วนน้ำที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่จะไหลออกทางด้านล่างและเข้าสู่ถังพักเพื่อลดความดัน ก๊าซบางส่วนที่ออกมาจากน้ำจะวนกลับไปทางดูดของคอมเพรสเซอร์ใหม่ ส่วนน้ำก็จะเข้าสู่หอฟื้นฟูสภาพที่ใช้อากาศในการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำออก โดยก๊าซทิ้งที่ออกจากด้านบนจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก น้ำที่ผ่านการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปแล้ว จะวนกลับไปหอดูดซึมอีกเพื่อละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Water Scrubber Technology ชนิดนำน้ำกลับมาใช้ใหม่



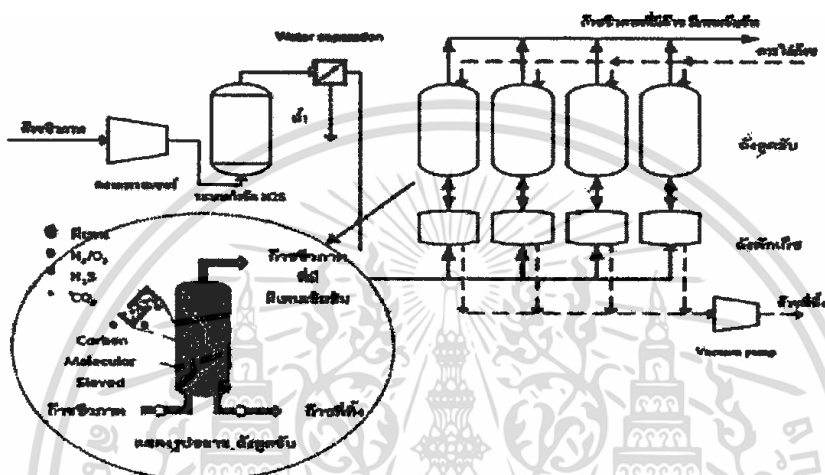
รูปที่ 2.5 เทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Water Scrubber Technology ชนิดนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ [6]

กรณีระบบที่มีการใช้น้ำครั้งเดียว (Single pass) นั้น มีข้อดีคือ จะมีประสิทธิภาพกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง เนื่องจากน้ำที่ใช้จะไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เจือปนอยู่ ส่วนระบบที่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ อาจจะมีประสิทธิภาพการกำจัดไม่ดีเท่าแบบแรกเนื่องจากในการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้น ไม่สามารถที่จะไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากน้ำได้หมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Pressure Swing Adsorption (PSA) Technology

เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องแยกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกก่อน หลักการทำงานใช้การเปลี่ยนแปลงความดันก๊าซแบบกลับไปกลับมา และสมบัติในการดูดซับของวัสดุต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นๆ โดยความสามารถในการดูดซับของวัสดุแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล ระบบประกอบด้วยถัง Adsorption 4 ถังด้วยกัน ภายในบรรจุด้วยตัวดูดซับ เช่น ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หรือ Zeolite การทำงานจะเป็นรอบตามวงจรการดูดซับ ดังแสดงรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Pressure Swing Adsorption [6]

ในสภาวะการทำงานปกติ แต่ละถังจะมีสถานการณ์ทำงานต่างกัน คือ ขั้นตอนการดูดซับ ขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพ และขั้นตอนการสร้างความดัน (ในช่วง 10-25 บาร์เกจ ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยี) ในขั้นตอนการดูดซับ ก๊าซชีวภาพจะเข้าทางด้านล่างของถัง Adsorption ในขั้นตอนนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ไนโตรเจน จะถูกดูดซับบนตัวดูดซับก๊าซที่ออกจากถังจะมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงมากกว่า 97 % นอกจากนี้ไฮโดรคาร์บอน Volatile Organic Compound (VOCs) และน้ำก็จะถูกดักจับไปด้วย ก่อนที่ถังจะจับสิ่งเจือปนจนอิ่มตัว ขั้นตอนการดูดซับก็จะหยุดลง ถังที่ได้รับการฟื้นฟูสภาพแล้วก็จะทำหน้าที่เป็นถังดูดซับแทนที่ ส่วนถังที่อิ่มตัวก็จะเข้าสู่สถานะการฟื้นฟูสภาพ โดยปรับลดความดันลง จนถึงความดันบรรยากาศ ก๊าซที่ออกมาจากถังในช่วงการลดความดันก็อาจจะมี ก๊าซมีเทนปนมาบ้าง ซึ่งจะมีการวนกลับไปดูดซับใหม่ หลังจากดึงก๊าซอื่นออกจากตัวดูดซับแล้ว (สิ้นสุดขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพ) ก็จะมีการอัดความดันเพื่อเตรียมการเข้าสู่ขั้นตอนการดูดซับอีกครั้งหนึ่ง เวลาต่อหนึ่งรอบของกระบวนการดูดซับจะอยู่ในช่วง 3-5 นาที ในกระบวนการดูดซับ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเป็นกระบวนการที่ย้อนกลับไม่ได้ (ต้องใช้ความร้อน) ดังนั้นถ้าไม่มีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกก่อน ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง เนื่องจากตัวดูดซับเสียสภาพการดูดซับก๊าซอื่นเนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

- Chemical Adsorption Technolog

เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในสารละลายต่าง Amine อาศัยความแตกต่างด้านความสามารถในการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน ในสารละลายต่าง Amine เช่น Monoethanolamine (MEA, R-NH<sub>2</sub>) หรือ Diethanolamine (DEA) เป็นต้น

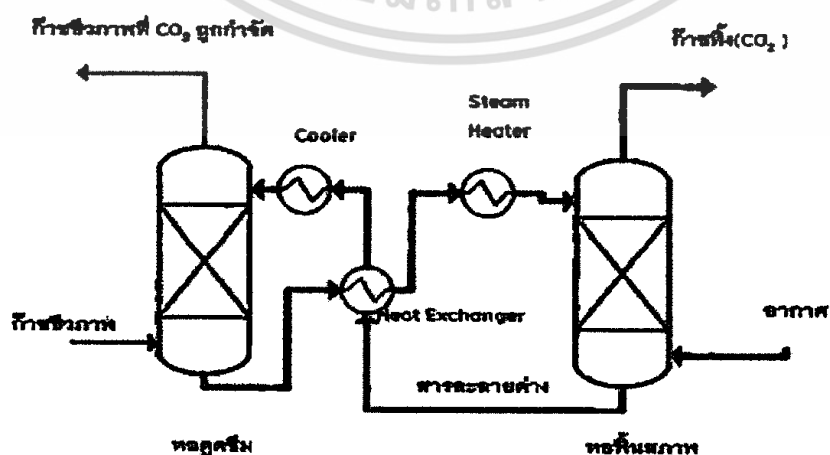
### ปฏิกิริยาดังสมการ

การละลาย CO<sub>2</sub> :  $2(R-NH_2)+CO_2 \rightarrow RNHCOONH_2R$  เมื่อสารละลายอุณหภูมิต่ำ

การระเหย CO<sub>2</sub> :  $RNHCOONH_2R \rightarrow 2(R-NH_2)+CO_2$  เมื่อสารละลายอุณหภูมิสูง

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับต่างเอมีน ดังสมการที่แสดงข้างต้น ระหว่างการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ องค์ประกอบของระบบจะมีหอดูดซึม และหอ Stripper (ในกรณีที่มีการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากสารละลาย และวนสารละลายกลับไปใช้ใหม่) ภายในหอดูดซึมพลาสติกเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทมวล ดังแสดงในรูปที่ 2.7

ก๊าซชีวภาพจะเข้าหอดูดซึมทางด้านล่างและจะไหลสวนทางกับสารละลาย ก๊าซชีวภาพที่กำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วและมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงจะออกจากระบบทางด้านบน ส่วนสารละลายที่ทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไหลออกทางด้านล่างผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อน 2 ชุด เพิ่มอุณหภูมิ โดยชุดแรกทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารละลายที่ออกมาจากหอพื้นสภาพและชุดที่สองแลกเปลี่ยนความร้อนกับร้อนตามลำดับ แล้วเข้าสู่หอพื้นสภาพ เมื่อเข้าสู่หอก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสารละลายที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกไล่ออกจากสารละลาย ก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะถูกปลดปล่อยทิ้ง ส่วนสารละลายจะถูกวนกลับไปใช้ใหม่ที่หอดูดซึม แต่ก่อนที่จะเข้าหอนี้จะมีการลดอุณหภูมิของสารละลายก่อน เพื่อช่วยให้สารละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีขึ้น

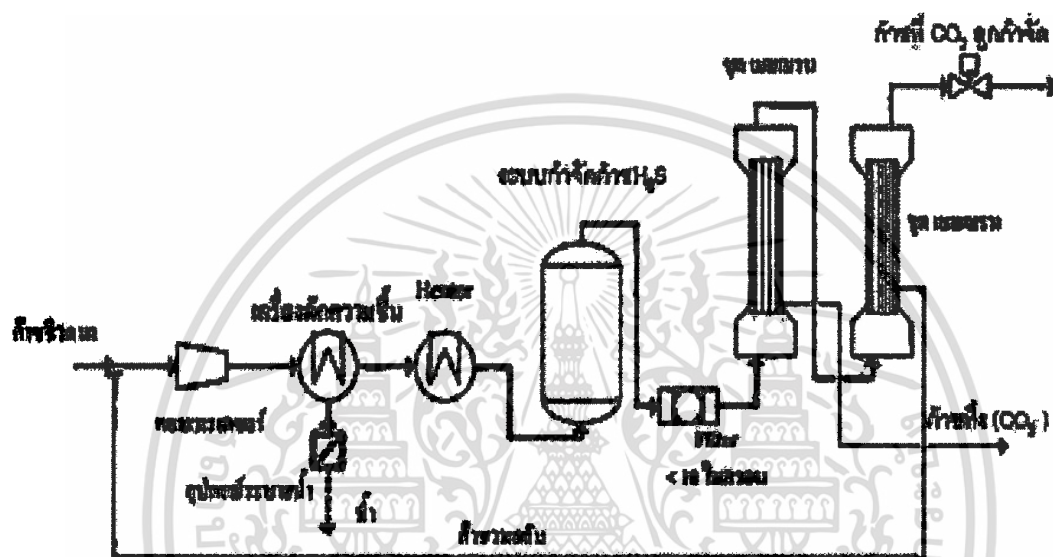


รูปที่ 2.7 เทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Chemical Adsorption [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Membrane Separation Technology (ซึ่งยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายนัก)

เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการเลือกซึมผ่านและแพร่ผ่านเมมเบรน ที่ใช้เยื่อแผ่นทำจาก Dense polyimide membrane ในการแยกสารใช้หลักการความแตกต่างของขนาดโมเลกุลหรือความถ่วงจำเพาะต่อโมเลกุลของก๊าซแต่ละชนิดในการดึงดูดกัน (Affinity) ทำงานภายใต้ความดัน ประมาณ 6-10 บาร์เกจ ประสิทธิภาพของการแยกขึ้นอยู่กับชนิดเมมเบรน หลักการโดยทั่วไปของเทคนิคการแยก คือ การเลือกซึมผ่าน (Selective Permeation) ดังแสดงรูปที่ 2.8

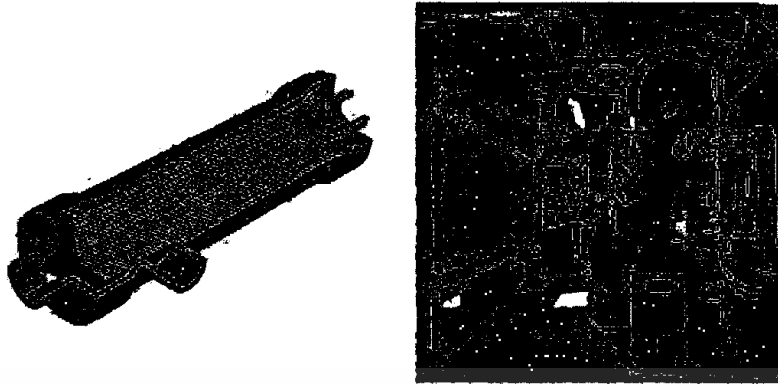


รูปที่ 2.8 เทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Membrane Separation [6]

การเลือกซึมผ่าน (Selective Permeation) หมายถึง การที่เมมเบรนยอมให้ก๊าซบางชนิดผ่านรูเปิดของเยื่อแผ่นเมมเบรน ขณะที่ไม่ยอมให้ก๊าซบางชนิดผ่าน

ในการแพร่ผ่านนั้นโมเลกุลก๊าซจะละลายและแพร่ผ่านไปในวัสดุโพลีเมอร์ (แผ่นเมมเบรน) โดยมีความแตกต่างระหว่างความดันระหว่างเยื่อแผ่นเป็นตัวช่วยในการดัน (Driving force) ให้โมเลกุลของก๊าซแพร่ผ่านไป ซึ่งอัตราการแพร่ผ่านของก๊าซแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การละลาย และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่

สำหรับก๊าซที่มีองค์ประกอบในก๊าซชีวภาพนั้น  $\text{CO}_2$  และ  $\text{H}_2\text{S}$  จะแพร่ผ่านเยื่อแผ่นได้เร็วกว่า  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$  และ  $\text{O}_2$



รูปที่ 2.9 ระบบการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ระบบเมมเบรน แบบ Hollow Flow [6]

ตารางที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของระบบกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบต่างๆ [6]

ลำดับ	ชนิดระบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
1	Water Scrubber Technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>• เทคนิคไม่ซับซ้อน</li> <li>• ไม่ต้องใช้สารเคมี</li> <li>• ได้ก๊าซที่มีความบริสุทธิ์สูงและ yeid สูง</li> <li>• ไม่เกิดสารกัดกร่อนในท่อ</li> <li>• ไม่ต้องใช้ความร้อน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ต้องใช้น้ำมาก</li> <li>• มีการปนเปื้อนหรือการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบนตัวกลาง ถ้ากำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ได้</li> <li>• ทำงานที่ความดันสูง ทำให้โครงสร้างของหอดูดซึมต้องทนความดันสูง</li> <li>• เสียค่าพลังงานในการเพิ่มความดันก๊าซชีวภาพ</li> </ul>
2	Pressure Swing Adsorption (PSA) Technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ได้ก๊าซที่มีความบริสุทธิ์สูง &gt;97%</li> <li>• ความต้องการใช้พลังงานต่ำ และไม่ใช้ความร้อน</li> <li>• การสูญเสียก๊าซมีเทนต่ำ (yeid สูง)</li> <li>• กำจัดสิ่งเจือปนอื่นๆด้วย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ต้องกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกก่อน</li> <li>• มีขั้นตอนมาก</li> <li>• ทำงานที่ความดันสูง</li> <li>• เสียค่าพลังงานในการเพิ่มและลดความดันก๊าซชีวภาพ</li> </ul>
3	Chemical Adsorption Technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>• กำจัดสิ่งเจือปนได้อย่างจำเพาะเจาะจง</li> <li>• เทคนิคไม่ซับซ้อน</li> <li>• ตัวระบบมีขนาดเล็ก</li> <li>• ไม่จำเป็นต้องทำงานที่ความดันสูง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• มีค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมีสูง</li> <li>• ใช้พลังงานความร้อนสูง ในการฟื้นฟูสภาพสารละลายต่างๆ</li> <li>• ต้องมีหลายหอดูดซึมในการกำจัดสิ่งเจือปนในแต่ละชนิด</li> </ul>

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ได้ก๊าซที่มีความบริสุทธิ์สูง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ต้องกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกก่อน</li> </ul>
4	Membrane Separation Technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ใช้พื้นที่น้อย</li> <li>• ไม่มีการเติมสารเคมี</li> <li>• มีอายุได้นานถึง 10-15 ปี</li> <li>• ใช้พลังงานของตัวเพิ่มความดันไม่มากทำให้ประหยัดพลังงาน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ราคาแพง</li> <li>• ระบบมีความละเอียดอ่อน ต้องควบคุมและบำรุงรักษาอย่างดี</li> <li>• ต้องกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกก่อน</li> <li>• ได้ yeid ก๊าซมีเทนต่ำ อาจจะมีก๊าซออกซิเจนเจือปนมา</li> </ul>

\*Yeid : มวลของก๊าซมีเทนที่ได้ในก๊าซที่ผ่านการกำจัดต่อมวลก๊าซมีเทนของก๊าซที่เข้าหน่วยกำจัด

### 2.3 ทฤษฎีการจับตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) กับน้ำ (H<sub>2</sub>O)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่ติดไฟและไม่ทำปฏิกิริยา ถ้าหากได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในปริมาณมากๆ จะรู้สึกเปรี้ยวที่ปาก เกิดการระคายเคืองที่จมูกและคอ เนื่องจากอาจเกิดการละลายของแก๊สนี้ในเมือกในอวัยวะ ก่อให้เกิดกรดคาร์บอนิกอย่างอ่อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความหนาแน่น 1.98 kg/M<sup>3</sup> ซึ่งเป็นประมาณ 1.5 เท่าของอากาศ หากต้องการทำให้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นของเหลว ต้องใช้ความดันไม่น้อยกว่า 5.18 ความดันบรรยากาศ [28]

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) เมื่อรวมตัวกับน้ำ (H<sub>2</sub>O) จะได้เป็นกรดคาร์บอนิก (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) สามารถเขียนสมการทางเคมีได้ดังนี้ (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ค่าคงที่สมดุลที่ 25 °C เท่ากับ 1.70×10<sup>-3</sup>: ดังนั้นคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนใหญ่จะไม่เปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอนิกและยังคงอยู่เป็นโมเลกุล CO<sub>2</sub> ถ้าหากไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา [29]

### 2.4 ไฮโดรเจนและคุณสมบัติของไฮโดรเจน [30]

ไฮโดรเจน (Hydrogen) เป็นธาตุเคมี ในตารางธาตุมีสัญลักษณ์ H และมีเลขอะตอมเท่ากับ 1 ที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศมาตรฐาน ไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่โมเลกุลมี 2 อะตอม ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ติดไฟง่าย เป็นอโลหะ ไฮโดรเจนเป็นธาตุที่เบาที่สุด เบากว่าอากาศถึง 14 เท่าและมีปรากฏในจักรวาลมากที่สุด มีอยู่ในโมเลกุลของน้ำ ในสารประกอบอินทรีย์ทุกตัว และสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ไฮโดรเจนสามารถมีปฏิกิริยาได้กับธาตุอื่น ๆ นอกจากนี้ ไฮโดรเจนยังใช้ในการผลิตแอมโมเนีย เป็นพลังงานของเซลล์เชื้อเพลิง ใช้ร่วมกับออกซิเจนในการตัดชิ้นงานได้น้ำ และใช้เป็นก๊าซสำหรับยานพาหนะ ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน เพราะไฮโดรเจนเป็นพลังงานที่สะอาดและมีค่าความร้อนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันก๊าซไฮโดรเจนผลิตได้จากวัตถุดิบสองแหล่งหลัก คือ เชื้อเพลิงฟอสซิล จำพวกก๊าซธรรมชาติ ถ่านน้ำมัน และเชื้อเพลิงจากพลังงานหมุนเวียน เช่น ชีวมวล และน้ำ เทคโนโลยีในการผลิตก๊าซชีวภาพ และแสดงคุณสมบัติของไฮโดรเจนเมื่อเปรียบเทียบกับ มีเทนและก๊าซโซลีน แสดงดังตารางที่ 2.8

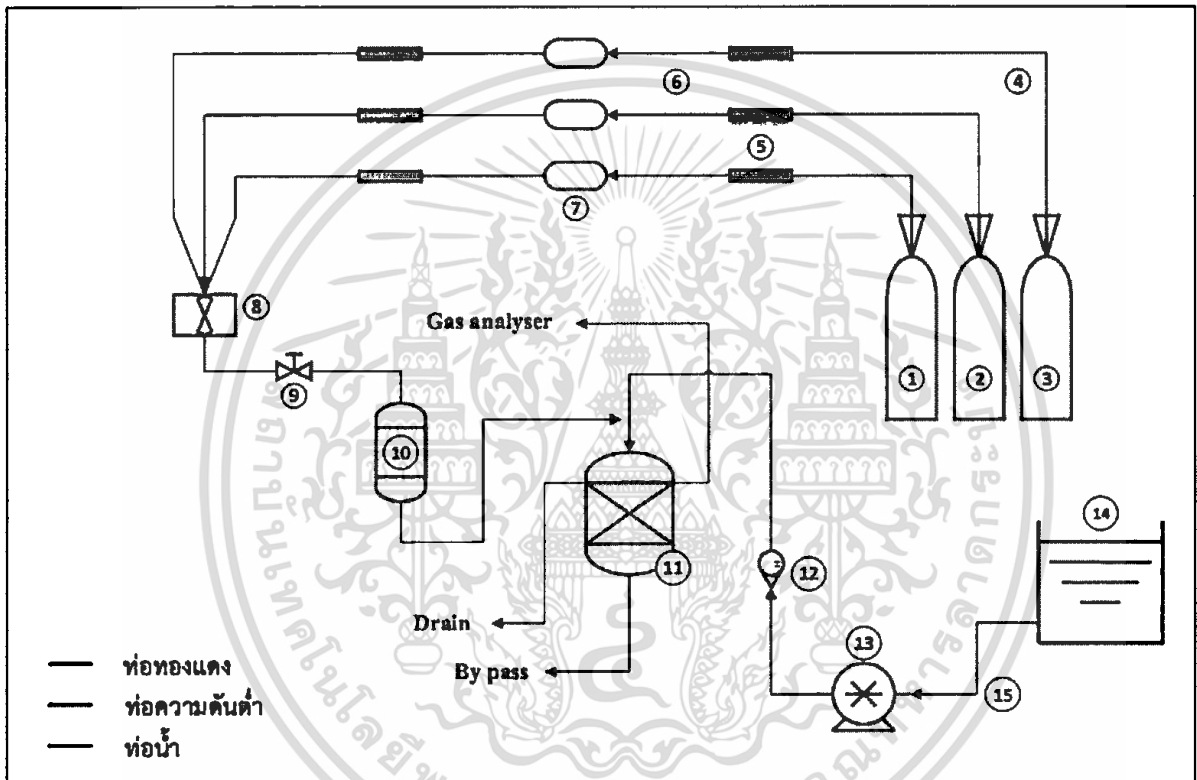
ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติของไฮโดรเจน มีเทน และก๊าซโซลีน [22]

	Hydrogen	Methane	Gasoline
Equivalence ratio ignition lower limit in NTP <sup>a</sup> air	0.10	0.53	0.70
Mass lower heating value (KJ/kg)	119,930	50,020	44,500
Density of at NTP (kg/m <sup>3</sup> )	0.083764	0.65119	4.4
Volumetric lower heating value at NTP (KJ/m <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>	10,046	32,573	195,800
Stoichiometric air-to-fuel ratio (kg/kg) <sup>b</sup>	34.20	17.19	15.08
Volumetric fraction of fuel in air , $\phi = 1$ at NTP <sup>b</sup> (KJ/m <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>	0.290	0.095	0.018
Volumetric lower heating value in air , $\phi = 1$ at NTP <sup>b</sup> (KJ/m <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>	2913	3088	3446
Burning speed in NTP air (cm/s)	265-325	37-45	37-43
% thermal energy radiated from flame to surroundings	17-25	23-33	30-42
Molar carbon to hydrogen ratio	0	0.25	0.44
Quenching distance in NTP air (cm)	0.064	0.203	0.2
Flame temperature in air (K)	2318	2148	2470

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง โดยการวิจัยนี้ได้ทดสอบที่อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ในการทดสอบได้ติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีรายละเอียดแสดงดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แผนผังการทดลองการกำจัดก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ภาพจริงของการทดลองการกำจัดก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์การทดลองการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน Biohythane ในรูปที่ 3.2 แสดงลำดับตามหมายเลขที่กำหนดไว้โดยรายละเอียดอุปกรณ์แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงชื่ออุปกรณ์ของการทดลองการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน Biohythane

หมายเลข	ชื่ออุปกรณ์
1	ถัง CNG ( $\text{CH}_4$ )
2	ถัง $\text{H}_2$
3	ถัง $\text{CO}_2$
4	ท่อความดันต่ำ
5	ข้อต่อ
6	ท่อทองแดง
7	Mass flow controller ของ CNG ( $\text{CH}_4$ ) , $\text{H}_2$ , $\text{CO}_2$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mass Flow Controller (CNG) จำนวน 1 เครื่อง</li> <li>- Mass Flow Controller (<math>\text{CO}_2</math>) จำนวน 1 เครื่อง</li> <li>- Mass Flow Controller (<math>\text{H}_2</math>) จำนวน 1 เครื่อง</li> </ul>
8	อุปกรณ์ผสมก๊าซ (Gas mixture)
9	วาล์วเปิด-ปิด
10	ถังพักก๊าซ
11	ถัง water scrubber
12	อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ Rotameter
13	บิ๊มน้ำ
14	ถังน้ำ
15	ท่อน้ำ

### 3.1 ก๊าซที่ใช้ในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน Biohythane

ก๊าซที่ใช้ในงานวิจัยประกอบไปด้วยก๊าซธรรมชาติ ที่ได้จากโรงแยกก๊าซ จังหวัดราชบุรี มีส่วนประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 3.2 (จากผลการวิเคราะห์ของโรงงานแยกก๊าซ) สำหรับก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซท่อที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไปมีความบริสุทธิ์อยู่ที่ 95 % และ 99.99 % ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติจากโรงแยกก๊าซ จังหวัดราชบุรี (ปตท.) [31]

ส่วนประกอบ	อัตราส่วน
Methane CH <sub>4</sub> (% mole)	74.528
Ethane C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (% mole)	2.414
Propane C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (% mole)	0.694
Isobutane i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (% mole)	0.150
n-Butane n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (% mole)	0.170
Isopentane i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (% mole)	0.070
n-Pentane n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (% mole)	0.039
Hexanes C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> (% mole)	0.072
Carbon dioxide CO <sub>2</sub> (% mole)	6.242
Nitrogen N <sub>2</sub> (% mole)	15.615
Specific gravity (SG.)	0.706

\* ผลการวิเคราะห์ของโรงงานแยกก๊าซจังหวัดราชบุรี วันที่ 8/02/2558

### 3.2 การวิเคราะห์สัดส่วนก๊าซธรรมชาติก่อนการทดลอง

เนื่องจากก๊าซธรรมชาติมีส่วนประกอบที่ไม่แน่นอน ก่อนการทดลองทุกครั้ง ผู้วิจัยมีความจำเป็นต้องทราบสัดส่วนของ มีเทน และ คาร์บอนไดออกไซด์ ในก๊าซธรรมชาติ เพื่อปรับอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติให้ตรงตามสัดส่วนของก๊าซที่จำลองเป็น Biohythane ที่มีอัตราส่วนผสมดังนี้ มีเทน (CH<sub>4</sub>) = 53.34 % ไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) = 7.54% และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) = 39.12% [32]

อัตราการไหลของก๊าซทั้ง 3 ชนิด ตามที่ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองไว้แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 อัตราการไหล Biohythane ก่อนปรับสัดส่วน

อัตราการไหล Biohythane (L/min)	CH <sub>4</sub> (L/min) (53.34 %)	H <sub>2</sub> (L/min) (7.54%)	CO <sub>2</sub> (L/min) (39.12%)	รวม (L/min)
3.00	1.60	0.230	1.17	3
4.82	2.57	0.360	1.89	4.82
7.50	4.00	0.570	2.93	7.50
10.18	5.43	0.770	3.98	10.18
12	6.40	0.900	4.69	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากก๊าซธรรมชาติประกอบไปด้วย มีเทน โพรเพน บิวเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และอื่นๆ ดังตารางที่ 3.2 ดังนั้น เพื่อให้ได้สัดส่วนของก๊าซตามตารางที่ 3.3 ผู้วิจัยจึงมีความจำเป็นต้องเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซธรรมชาติ และลดอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นอัตราการไหลของก๊าซที่ไหลออกจาก mass flow controller (ตารางที่ 3.4) จะมีค่ามากกว่าอัตราการไหลที่ผู้วิจัยได้ออกแบบไว้ (ตารางที่ 3.3) (รายละเอียดแสดงอยู่ในภาคผนวก ก )

ตารางที่ 3.4 อัตราการไหล Biohythane หลังปรับสัดส่วน

อัตราการไหล Biohythane (L/min)	CNG (L/min)	H <sub>2</sub> (L/min)	CO <sub>2</sub> (L/min)	* รวม (L/min)
3	2.15	0.230	1.04	3.41
4.82	3.45	0.380	1.67	5.50
7.5	5.37	0.530	2.60	8.49
10.18	7.29	3.530	0.60	11.42
12	8.59	0.900	4.16	13.65

\*อัตราการไหล Biohythane หลังปรับสัดส่วนที่ใช้ในการทดลอง

### 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใน Biohythane

การทดลองเริ่มจากก๊าซความดันสูงทั้ง 3 ชนิด จากถังก๊าซ ไหลเข้าสู่อุปกรณ์ปรับลดความดันก๊าซ (Pressure regulator) เพื่อลดความดันให้เหมาะสมกับการทดลอง จากนั้นก๊าซเชื้อเพลิงไหลผ่านท่อทองแดง ท่อความดันต่ำ และ Flow meter เข้าสู่ถังพักและถัง Scrubber

ก๊าซที่ใช้ในการทดลองได้มาจากการซื้อขายทางการค้าเพื่อจำลองเป็น Biohythane สำหรับการทดลองนี้ใช้ก๊าซ 3 ชนิดผสมกัน คือ ก๊าซธรรมชาติอัด (แทนก๊าซมีเทน) ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการวิจัยนี้มีอุปกรณ์ต่างๆ (รายละเอียดแสดงอยู่ในภาคผนวก ข )

### 3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการวิจัยการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane โดยการจำลองก๊าซ 3 ชนิด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไฮโดรเจน เป็นก๊าซธรรมชาติมีอุปกรณ์และเครื่องมือการทดลองดังนี้ (รายละเอียดแสดงอยู่ในภาคผนวก ข )

- 3.4.1 อุปกรณ์วัดและควบคุมอัตราการไหลของก๊าซทั้ง 3 ชนิด
  - 3.4.1.1 CNG mass flow controller
  - 3.4.1.2 CO<sub>2</sub> mass flow controller
  - 3.4.1.3 H<sub>2</sub> mass flow controller
- 3.4.2 อุปกรณ์ลดความดันของไฮโดรเจน (Hydrogen regulator)
- 3.4.3 อุปกรณ์ลดความดันของคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide regulator)
- 3.4.4 อุปกรณ์ผสมเชื้อเพลิง (Gas mixture)
- 3.4.5 อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซรั่ว (Gas leak detector)
- 3.4.6 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ (Ultrasonic flow meter and Rotameter)
- 3.4.7 อุปกรณ์วัดปริมาณของก๊าซ (Gas Chromatography)
- 3.4.8 ถุงเก็บตัวอย่างก๊าซ (Gas Sample Bags)

### 3.5 วิธีการทดลอง

การศึกษาการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน Biohythane โดยใช้ก๊าซผสมระหว่าง มีเทน ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ มีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

3.5.1 เริ่มจากเปิดถังก๊าซทั้ง 3 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วย CNG (มีเทน), ไฮโดรเจน, คาร์บอนไดออกไซด์ แล้วปรับวาล์วลดความดันให้อยู่ที่ 1.8 bar (ความดันต่ำสุดที่สามารถปรับได้), 1 bar, 1 bar ตามลำดับ จากนั้นปล่อยให้ก๊าซทั้งสามไหลผ่านท่อความดันต่ำและท่อทองแดง

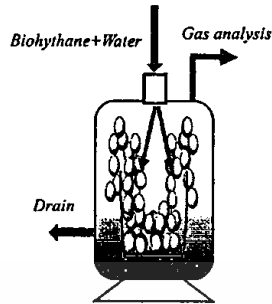
3.5.2 ปรับค่าอัตราการไหลของก๊าซทั้ง 3 ชนิดที่ Mass flow controller ของ CNG (CH<sub>4</sub>), H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ดังตารางที่ 3.4 โดยปรับตั้งใหม่ทุกครั้งก่อนการทดลองแต่ละครั้ง

3.5.3 ก๊าซแต่ละชนิดที่ถูกควบคุมอัตราการไหล จะไหลผ่านท่อทองแดงไปยังอุปกรณ์ผสมก๊าซ (Gas mixture) โดยอุปกรณ์ผสมก๊าซจะมีลักษณะด้านในเป็นใบพัด เพื่อให้ก๊าซทั้ง 3 ชนิดผสมกัน จนกลายเป็น Biohythane แล้วไหลต่อไปสู่ถังพักก๊าซ ซึ่งก๊าซจะถูกเก็บสะสมไว้ในถังพักก๊าซก่อนเข้าถัง Scrubber

3.5.4 น้ำที่ไหลจากถังซึ่งควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มน้ำที่สามารถปรับค่าได้ ไหลไปยัง Rotameter ซึ่งเป็นตัววัดอัตราการไหลของน้ำ น้ำไหลผ่านท่อ PVC และไหลไปรวมกับ Biohythane ที่ไหลออกจากถังพักก๊าซ เพื่อเข้าไปยังถัง Scrubber

3.5.5 Biohythane และน้ำถูกผสมกันก่อนหน้านี้ ไหลเข้ามายังถัง Scrubber โดยด้านในของ ถังมีลักษณะเป็นรูปถ้วยดังรูปที่ 3.2 Biohythane และน้ำจะไหลกระทบกันภายในถ้วยจนเกิดฟอง ทำให้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำจับตัวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จับตัวกับน้ำกลายเป็นกรดคาร์บอนิก แล้วไหลออกไปพร้อมกับน้ำทางด้านออก



รูปที่ 3.3 ภายในของถัง Water Scrubber และการเกิดฟองจากการกระทบ [33]

### 3.5.6 เตินระบบการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามเงื่อนไขการทดลอง

3.5.7 เมื่อถึงระยะเวลาในการทดลองที่ตั้งไว้ ให้ปิดวาล์วทางออกของน้ำและปิดวาล์วทางเข้าทั้งหมด จากนั้นเปิดวาล์วที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างการทดลอง เพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซที่กำจัดคาร์บอนไดออกไซด์แล้วไปยังถุงเก็บตัวอย่างก๊าซ เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปส่งตรวจยังเครื่อง Gas Chromatography

### 3.6 การวางแผนการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้จำลองเชื้อเพลิงเป็น Biohythane โดยกำหนดค่าสัดส่วนผสมตั้งต้นของ Biohythane คือ  $\text{CO}_2$  39.12 % ,  $\text{CH}_4$  53.34 % และ  $\text{H}_2$  7.54 % [32] จากนั้นใช้วิธี Response Surface Methodology, RSM และออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design, CCD เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด และรูปแบบสมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ คือ เวลาการทดลอง , อัตราการไหลของ Biohythane , อัตราการไหลของน้ำ ที่มีอิทธิพลต่อค่าผลตอบสนอง คือ การลดปริมาณก๊าซ  $\text{CO}_2$  ใน Biohythane ซึ่งอยู่ในรูปความสัมพันธ์ ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$CR = f(T, Q_{\text{gas}}, Q_{\text{water}}) \quad (3.1)$$

โดยที่ CR คือ การลดปริมาณก๊าซ  $\text{CO}_2$  ใน Biohythane  
 T คือ เวลาการทดลอง  
 $Q_{\text{gas}}$  คือ อัตราการไหลของ Biohythane  
 $Q_{\text{water}}$  คือ อัตราการไหลของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) เป็นเทคนิคหนึ่งในวิธีการวิเคราะห์หาพื้นผิวตอบสนอง โดยทั่วไปการวางแผนการทดลองแบบ CCD ประกอบด้วย  $2^k factorial$  ในแนวแกนหรือในแนวรูปดาว ในกรณีที่การทดลองมีตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร  $2^k factorial$  จะประกอบด้วย  $(-1,-1), (+1,-1), (-1,+1), (+1,+1)$  แต่  $2^k factorial$  ในแนวแกนหรือในแนวรูปดาวจะประกอบด้วย  $(-\alpha, 0), (+\alpha, 0), (0, -\alpha), (0, +\alpha)$  และที่จุดศูนย์กลางจะมีการกระทำซ้ำ 3-6 การทดลอง ของแต่ละตัวแปรอิสระ ในงานวิจัยนี้มีตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร ดังนั้นจะประกอบด้วย 5 ระดับของแต่ละปัจจัย คือ  $(-1.68, -1, 0, 1, 1.68)$  หรือสามารถหาจุดแกนของระดับในแต่ละตัวแปรอิสระที่ทำให้การทดลองได้จากสมการที่ 3.2 [34]

$$\alpha = \sqrt[4]{2^k} \quad (3.2)$$

โดยที่  $\alpha$  คือ จุดแกน  
 $k$  คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

การออกแบบแผนการทดลองแบบ central composite design, CCD 3 ตัวแปรอิสระ โดยใช้โปรแกรม Essential Experimental Design and Essential Regression Version 2.209 จะต้องทำการทดลองทั้งหมด 17 การทดลอง เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการกำจัดก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane และหารูปแบบสมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่สนใจ คือ เวลาการทดลอง, อัตราการไหลของน้ำ, อัตราการไหลของ Biohythane ที่ส่งผลต่อการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ซึ่งได้สรุปช่วงและระดับของตัวแปรอิสระที่จะทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ดังแสดงในตารางที่ 3.5 (รายละเอียดแสดงอยู่ในภาคผนวก ค )

ตารางที่ 3.5 แสดงช่วง Code ระดับของตัวแปร

ตัวแปรอิสระ	หน่วย	Code ระดับของตัวแปร				
		-1.68	-1	0	1	1.68
อัตราการไหลของ biohythane	l /min	3	4.82	7.50	10.18	12
อัตราการไหลของน้ำ	l /min	8	9.62	12	14.38	16
เวลาการทดลอง	min	5	6.13	8	9.46	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 แสดงแผนการทดลองที่สภาวะต่างๆ

การทดลองที่	Q <sub>gas</sub> : อัตราการไหลของ biohythane (l /min)	Q <sub>water</sub> : อัตราการไหลของน้ำ (l /min)	T: เวลาการทดลอง (min)	CR: การลดปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane (%)
1	(1) 10.18	(1) 14.4	(1) 9.46	
2	(0) 7.50	(1.68) 16.00	(0) 8.00	
3	(-1) 4.82	(-1) 9.6	(1) 9.46	
4	(1) 10.18	(1) 14.4	(-1) 6.13	
5	(1) 10.18	(-1) 9.6	(1) 9.46	
6	(0) 7.50	(0) 12.00	(0) 8.00	
7	(0) 7.50	(0) 12.00	(-1.68) 5.00	
8	(-1.68) 3.00	(0) 12.00	(0) 8.00	
9	(-1) 4.82	(-1) 9.6	(-1) 6.13	
10	(1) 10.18	(-1) 9.6	(-1) 6.13	
11	(0) 7.50	(0) 12.00	(0) 8.00	
12	(0) 7.50	(-1.68) 8.00	(0) 8.00	
13	(-1) 4.82	(1) 14.4	(-1) 6.13	
14	(0) 7.50	(0) 12.00	(1.68) 11.00	
15	(1.68) 12.00	(0) 12.00	(0) 8.00	
16	(-1) 4.82	(1) 14.4	(1) 9.46	
17	(0) 7.50	(0) 12.00	(0) 8.00	

### 3.7 การหารูปแบบสมการทำนายความสัมพันธ์

วิธี response surface methodology, RSM เป็นวิธีหนึ่งในการหารูปแบบสมการของความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองกับตัวแปรอิสระ โดยใช้วิธี multiple regression ในการวิเคราะห์หารูปแบบ Polynomial ดังแสดงในสมการที่ 3.3 [35]

$$y = \beta_0 + \beta_1(X_1) + \beta_2(X_2) + \beta_3(X_3) + \beta_4(X_1^2) + \beta_5(X_2^2) + \beta_6(X_3^2) + \beta_7(X_1^3) + \beta_8(X_2^3) + \beta_9(X_3^3) \quad (3.3)$$

โดยที่  $y$  คือ ค่าผลตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$X_1, X_2, X_3$  คือ ตัวแปรอิสระ

$\beta_0, \beta_{1,2,3}, \beta_{4,5,6}, \beta_{7,8,9}$  คือ ค่าคงที่, สัมประสิทธิ์ของพจน์ ตัวแปรกำลังหนึ่ง, ตัวแปรกำลังสอง และตัวแปรกำลังสาม ตามลำดับ

ผลการทดลองที่ได้ สามารถนำไปหารูปแบบสมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองกับตัวแปรอิสระที่ศึกษา ซึ่งสมการทำนายความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทั้ง 3 ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี multiple regression ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% หลังจากได้สมการทำนายความสัมพันธ์แล้ว จึงพิจารณาสมการโดยตัดพจน์ที่ไม่มีนัยสำคัญออก ซึ่งสังเกตได้จากค่า  $P$ -value ถ้า  $P$ -value มีค่ามากกว่า 0.10 แสดงว่าพจน์ดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญต่อสมการ ให้เหลือเพียงพจน์ที่มีค่า  $P$ -value น้อยกว่า 0.10 ซึ่งแสดงว่าพจน์ดังกล่าวมีนัยสำคัญต่อสมการทำนายความสัมพันธ์ และได้นำสมการความสัมพันธ์ที่ได้มาทดสอบค่า  $F$ -test เพื่อทดสอบนัยสำคัญของสมการความสัมพันธ์ โดยจะตัดสินใจเพื่อปฏิเสธสมมติฐานหลัก ถ้าค่าสถิติเอฟที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่า  $F_{critical}$  หรือ  $F_0 > F_{\alpha, i, n-1-i}$  โดยที่  $\alpha$  คือ 0.10 (ที่ระดับความเชื่อมั่น 90%),  $i$  คือ จำนวนพจน์ทั้งหมดของสมการความสัมพันธ์ ยกเว้น  $\beta_0$  และ  $n$  คือ จำนวนการทดลอง โดยค่า  $F_{critical}$  ได้จากการเปิดตารางเอฟ (ได้แสดงตารางเอฟในภาคผนวก ง) และรูปแบบสมการที่ได้จะนำไปสร้างกราฟพื้นผิวผลตอบสนอง (response surface) และกราฟ contour ของผลตอบสนองกับเงื่อนไขการทดลองในช่วงการแปรค่าตัวแปรอิสระ

### 3.8 การหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณก๊าซ $CO_2$ ใน Biohythane

สถานะที่เหมาะสมที่สุดของการลดปริมาณก๊าซ  $CO_2$  ใน Biohythane ขึ้นอยู่กับรูปแบบของสมการทำนายความสัมพันธ์ที่ได้ สถานะที่เหมาะสมที่สุดได้จากการแก้สมการทำนายความสัมพันธ์ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตของตัวแปรอิสระ ดังแสดงในตารางที่ 3.7 และใช้โปรแกรม excel solver ทำการแก้สมการทำนายความสัมพันธ์ เพื่อหาการลดปริมาณก๊าซ  $CO_2$  ใน Biohythane ที่สูงที่สุด ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนด

ตารางที่ 3.7 แสดงเงื่อนไขขอบเขตของตัวแปรอิสระ

ตัวแปรอิสระ	ขอบเขตตัวแปรอิสระ	หน่วย
อัตราการไหลของ biohythane	$3 \leq Q_{gas} \leq 12$	L/min
อัตราการไหลของน้ำ	$8 \leq Q_{water} \leq 16$	L/min
เวลาการทดลอง	$5 \leq T \leq 11$	min

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 ผลการศึกษาหารูปแบบสมการทำนายความสัมพันธ์ของการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane

ผลจากการวิเคราะห์หาการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) ตามแผนการทดลองได้แสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.1 นำผลการทดลองและตัวแปรอิสระมาวิเคราะห์และสร้างความสัมพันธ์เป็นสมการถดถอยเพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างการลดปริมาณ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane กับตัวแปรอิสระในรูปแบบของสมการ Polynomial โดยใช้วิธี multiple regression ดังแสดงในสมการที่ 4.1 แต่สมการดังกล่าวยังไม่ได้พิจารณานัยสำคัญ ดังนั้นสมการจะต้องถูกพิจารณานัยสำคัญของแต่ละพจน์ก่อน โดยตัดพจน์ที่ไม่มีนัยสำคัญออก ซึ่งสังเกตได้จากค่า  $P$ -value ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ ถ้า  $P$ -value มีค่ามากกว่า 0.10 แสดงว่าพจน์ดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญต่อสมการนั้น ดังนั้นพจน์ย่อยในสมการดังกล่าวจะถูกตัดออกให้เหลือเพียงพจน์ที่มีค่า  $P$ -value น้อยกว่า 0.10 แสดงว่าพจน์ดังกล่าวมีนัยสำคัญต่อสมการทำนายความสัมพันธ์ หลังจากพิจารณาค่า  $P$ -value เสร็จสิ้นจะได้สมการความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 4.2 โดยค่าสัมประสิทธิ์และค่าทางสถิติของสมการแสดงดังตารางที่ 4.2 สมการทำนายการลดปริมาณ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of multiple determination,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.809 แสดงให้เห็นว่า 80.9% ของข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถเข้ากันได้กับข้อมูลที่ได้จากการทำนายของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และยังบอกถึงปริมาณของก๊าซ CO<sub>2</sub> ที่ลดลง เป็นผลหรือมีอิทธิพลจากตัวแปร 80.9% ส่วนอีก 19.1% เป็นผลมาจากตัวแปรอื่นที่ไม่สามารถอธิบายได้ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีการปรับแก้ ( $R^2_{adjusted}$ ) ที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.694 ซึ่งมากกว่า 0.64 (ค่ากำหนดต่ำสุดของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีการปรับแก้ที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ควรจะมี) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากนั้นนำสมการทำนายความสัมพันธ์ที่ได้มาทดสอบค่า  $F$ -test ผลปรากฏว่า ค่า  $F_0 = 7.058$  (จากสมการ) มีค่ามากกว่าค่า  $F_{critical} = 2.46$  (จากตาราง  $f_{0.10,6,10}$  ในภาคผนวก ง) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวแปรอิสระคือ อัตราการไหลของ Biohythane อัตราการไหลของน้ำ และเวลาการทดลอง มีผลต่อการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane เมื่อนำสมการทำนายความสัมพันธ์ของการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane กับตัวแปรอิสระที่ศึกษา ไปสร้างกราฟพื้นผิวผลตอบสนอง (response surface) และกราฟ contour แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของ Biohythane อัตราการไหลของน้ำ และเวลาการทดลอง ที่ส่งผลต่อการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ดังแสดงในรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลในการลดปริมาณ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ตามแผนการทดลองที่สภาวะต่างๆ

การทดลองที่	Q <sub>gas</sub> : อัตราการไหลของ Biohythane (l /min)	Q <sub>water</sub> : อัตราการไหลของน้ำ (l /min)	T: เวลาการทดลอง (min)	CR: การลดปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane (%)
1	10.18	14.4	9.46	79.48
2	7.50	16.00	8.00	80.39
3	4.82	9.6	9.46	41.27
4	10.18	14.4	6.13	32.77
5	10.18	9.6	9.46	44.70
6	7.50	12.00	8.00	50.12
7	7.50	12.00	5.00	39.26
8	3.00	12.00	8.00	72.64
9	4.82	9.6	6.13	36.18
10	10.18	9.6	6.13	25.35
11	7.50	12.00	8.00	50.12
12	7.50	8.00	8.00	13.58
13	4.82	14.4	6.13	58.40
14	7.50	12.00	11.00	43.31
15	12.00	12.00	8.00	45.34
16	4.82	14.4	9.46	59.48
17	7.50	12.00	8.00	50.12

สมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane กับตัวแปรอิสระก่อนพิจารณานัยสำคัญของแต่ละพจน์ (ได้แสดงค่าสัมประสิทธิ์กับค่าทางสถิติของสมการทำนายความสัมพันธ์ในภาคผนวก จ)

$$\begin{aligned}
 CR = & \beta_0 + \beta_1(Q_{gas}) + \beta_2(Q_{water}) + \beta_3(T) + \beta_4(Q_{gas}^2) + \beta_5(Q_{water}^2) \\
 & + \beta_6(T^2) + \beta_7(Q_{gas}^3) + \beta_8(Q_{water}^3) + \beta_9(T^3)
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane กับตัวแปรอิสระ หลังจากพิจารณานัยสำคัญของแต่ละพจน์ (ได้แสดงค่าสัมประสิทธิ์กับค่าทางสถิติของสมการทำนายความสัมพันธ์ในภาคผนวก จ)

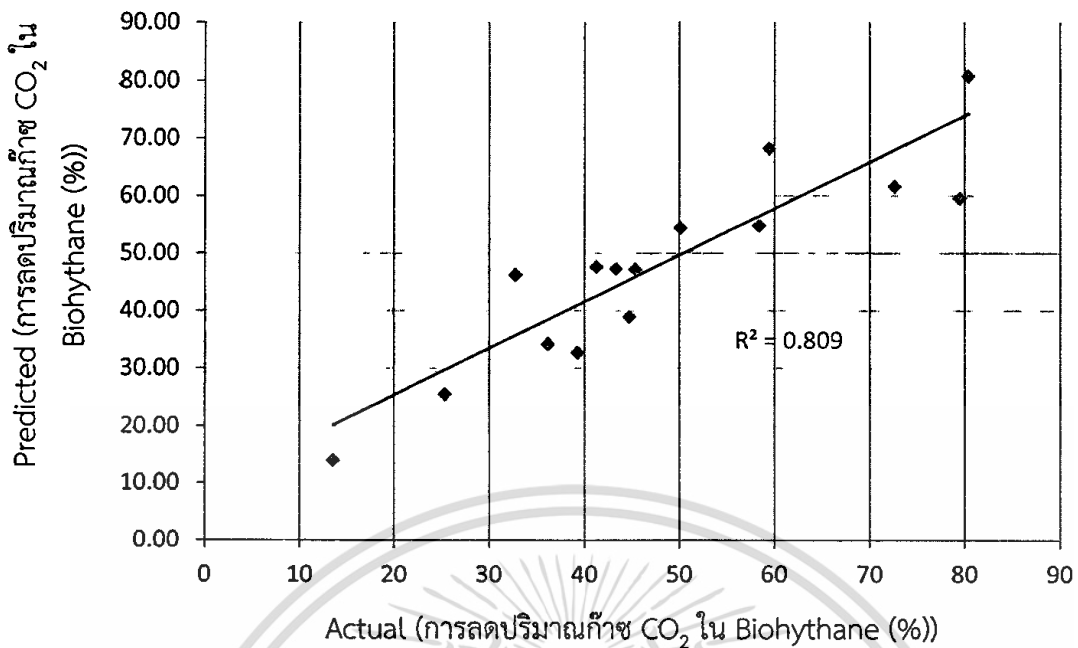
$$CR = \beta_0 + \beta_1(Q_{gas}) + \beta_2(Q_{water}) + \beta_3(Q_{water}^2) + \beta_4(T^2) + \beta_5(Q_{water}^3) + \beta_6(T^3) \quad (4.2)$$

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์กับค่าทางสถิติของสมการทำนายความสัมพันธ์ของสมการที่ (4.2)

Term	Regression coefficients	P-value	Std. Error	-90%	90%
$\beta_0$	-747.02	0.06725	363.99	-1406.7	-87.30
$\beta_1$	-1.613	0.138	1.001	-3.428	0.201
$\beta_2$	180.13	0.08451	94.06	9.641	350.61
$\beta_3$	-14.39	0.101	7.973	-28.84	0.06240
$\beta_4$	2.082	0.04682	0.919	0.417	3.748
$\beta_5$	0.387	0.110	0.221	-0.01325	0.788
$\beta_6$	-0.154	0.06508	0.07418	-0.288	-0.01924

$$R^2 = 0.809, R^2_{\text{adjusted}} = 0.694, P\text{-value} < 0.1$$

จากตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระเกือบทุกพจน์ของตัวแปรอิสระมีค่า P-value < 0.10 ที่ระดับความเชื่อมั่น 90 % แสดงว่าตัวแปรอิสระดังกล่าวมีนัยสำคัญต่อสมการทำนายความสัมพันธ์ที่ได้ ยกเว้นพจน์ของ  $\beta_1$  และ  $\beta_5$  ที่มีค่า P-value > 0.1 ซึ่ง  $\beta_1$  มีความมากที่สุดเท่ากับ 0.138 เนื่องจากตัวแปรดังกล่าวมีความสำคัญต่อการทดลองหาค่า Optimization (จุดที่เหมาะสมที่สุด) ในขั้นตอนถัดไป ดังนั้นจึงไม่สามารถตัด  $\beta_1$  และ  $\beta_5$  ออกได้

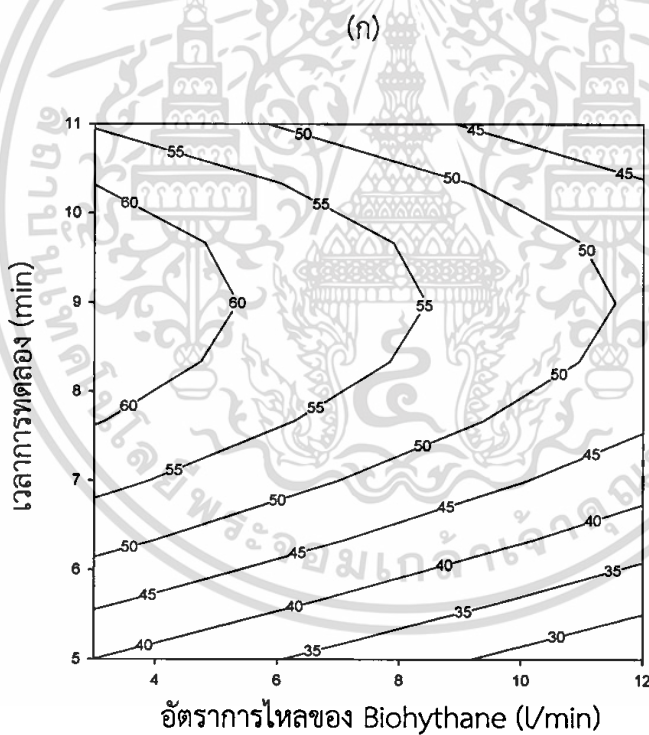
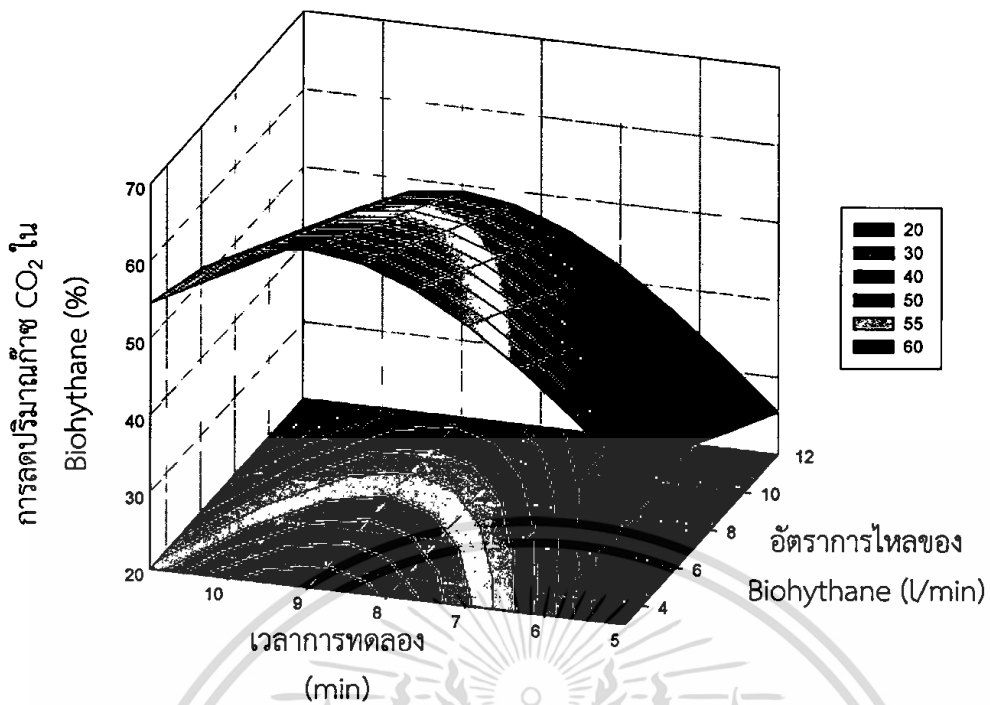


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้จากการทดลอง Actual กับสมการทำนายความสัมพันธ์ Predicted

จากรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นการอธิบายถึงความสัมพันธ์ของการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ที่ได้จากการทดลอง (Actual) และค่าที่ได้จากสมการทำนายความสัมพันธ์ (Predicted) จะเห็นได้ว่าการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ที่ได้จากการทำนายโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับค่าที่ได้จากการทดลองมีแนวโน้มของทิศทางมีความสอดคล้องกัน และมีแนวโน้มเข้าใกล้กับแนวของเส้นทแยงมุม ซึ่งบ่งบอกว่าการออกแบบการทดลองของตัวแปรอิสระที่เลือกมาในการศึกษานี้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ,  $R^2 = 0.809$

#### 4.2 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (สมการที่ 4.2) สามารถนำมาสร้างกราฟพื้นผิวผลตอบสนอง (response surface) และกราฟ contour เพื่ออธิบายถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.4

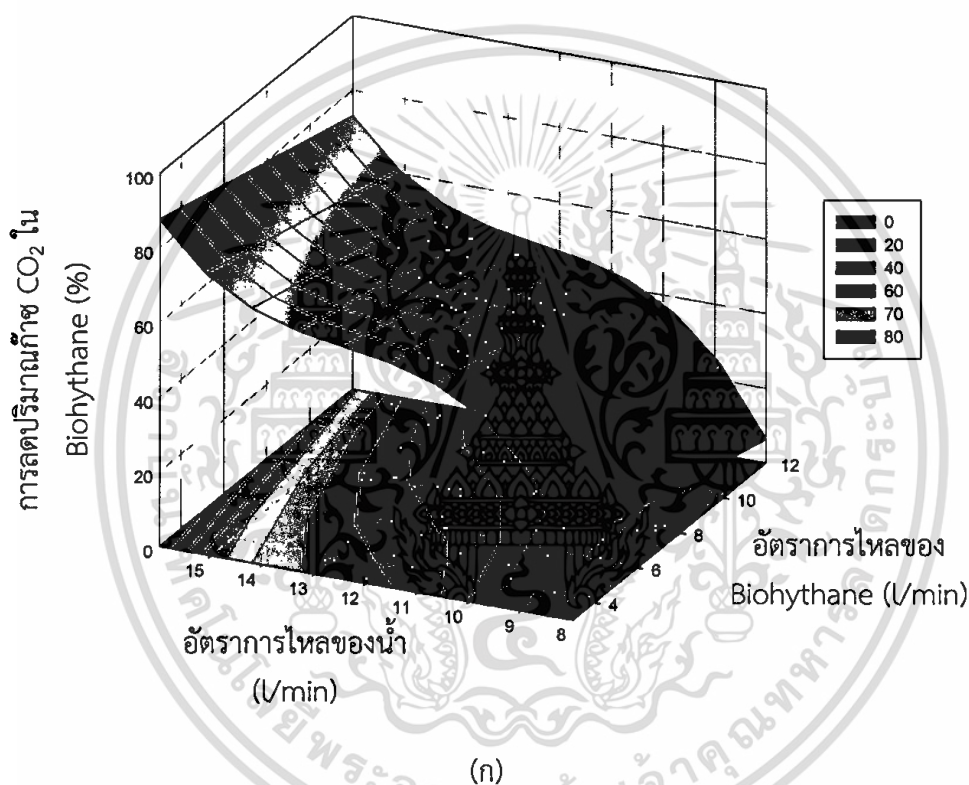


(ข)

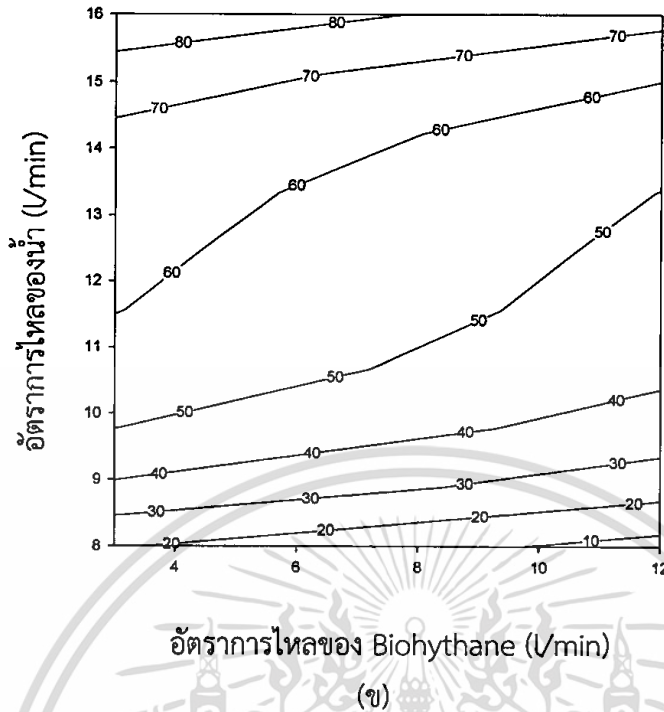
รูปที่ 4.2 (ก) พื้นผิวตอบสนอง ของการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ที่อัตราการใช้ของ Biohythane กับเวลาการทดลองต่างกัน (ข) กราฟ Contour ของการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ที่อัตราการใช้ของ Biohythane กับเวลาการทดลองต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลของอัตราการไหลของ Biohythane กับเวลาการทดลอง ที่มีต่อการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane พบว่าการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> สูงสุดอยู่ที่ 60% เมื่ออัตราการไหลของ Biohythane อยู่ในช่วง 3-5 l/min และเวลาการทดลอง 8-10 min เพราะช่วงอัตราการไหลของ Biohythane ต่ำกับเวลาการทดลองที่ค่อนข้างนาน ทำให้น้ำจับตัวกับก๊าซ CO<sub>2</sub> ได้ดี ส่วนในช่วงอัตราการไหลของ Biohythane สูงจะเห็นได้ว่าการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> นั้นลดลง และการทดลองที่ใช้เวลาการทดลองมากกว่า 10 min จะมีผลต่อการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> นั้นค่อนข้างน้อย จะเห็นได้ว่าช่วงการทดลองที่เหมาะสมกับการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane มากที่สุดคือที่อัตราการไหลของ Biohythane 3 l/min และเวลาการทดลอง 9 min

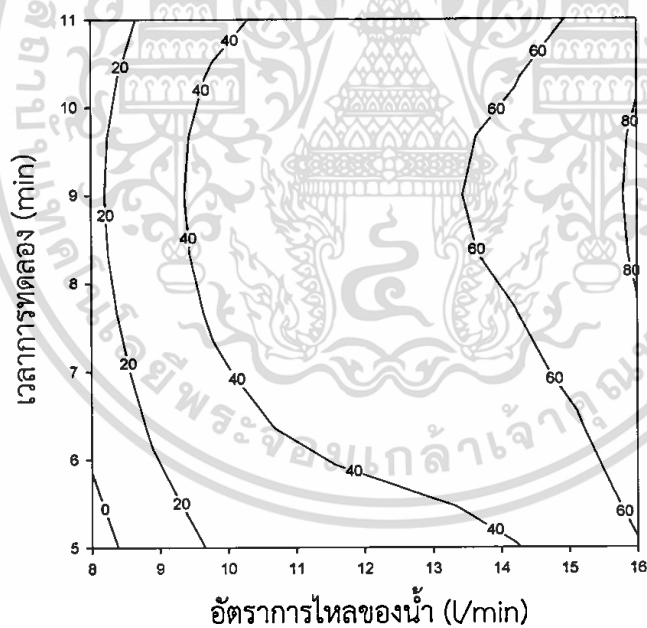
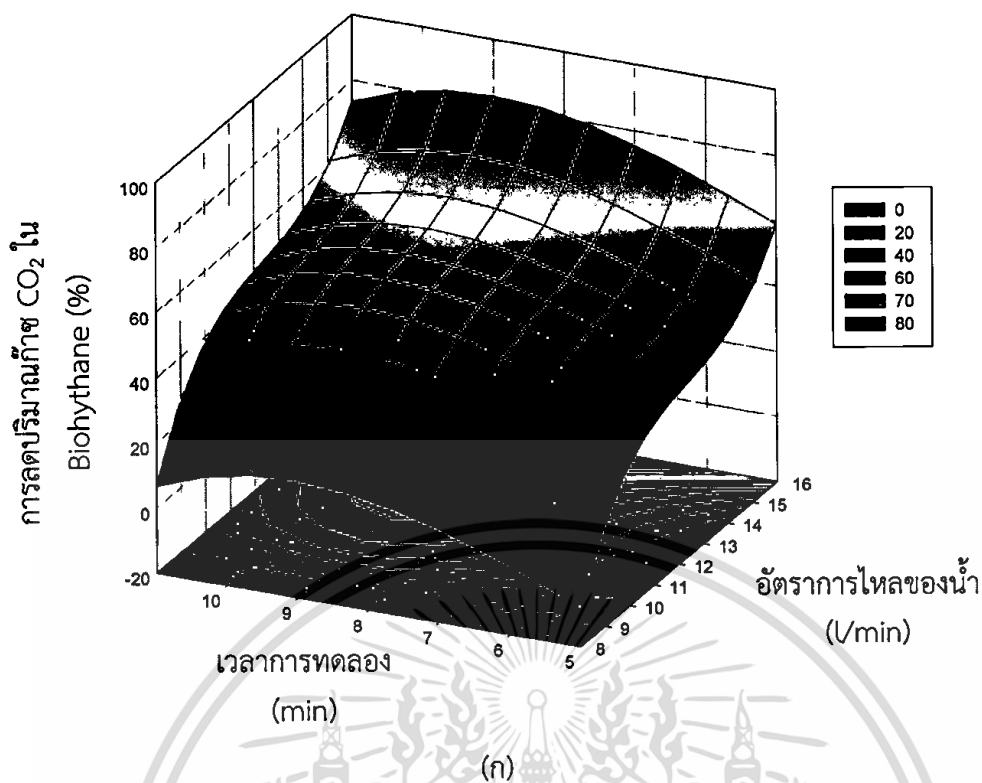


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 (ก) พื้นผิวตอบสนอง ของการลดปริมาณก๊าซ  $\text{CO}_2$  ใน Biohythane ที่ค่าของอัตราการใช้ของ Biohythane กับอัตราการใช้ของน้ำต่างกัน (ข) กราฟ Contour ของการลดปริมาณก๊าซ  $\text{CO}_2$  ใน Biohythane ที่ค่าของอัตราการใช้ของ Biohythane กับอัตราการใช้ของน้ำต่างๆ กัน

จากรูปที่ 4.3 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลของอัตราการใช้ของ Biohythane กับอัตราการใช้ของน้ำ ที่มีต่อการลดปริมาณก๊าซ  $\text{CO}_2$  ใน Biohythane พบว่าการลดปริมาณก๊าซ  $\text{CO}_2$  สูงสุดอยู่ที่ 80% เมื่ออัตราการใช้ของ Biohythane อยู่ในช่วง 3-6 U/min และอัตราการใช้ของน้ำ 16 U/min หากพิจารณาช่วงแถบสีที่เข้มขึ้นจะพบว่าการลดปริมาณก๊าซ  $\text{CO}_2$  นั้นมีเปอร์เซ็นต์ที่ลดลง ซึ่งเมื่อนำไปทดลองประสิทธิภาพย่อมลดลงด้วย



(ข)

รูปที่ 4.4 (ก) พื้นผิวตอบสนอง ของการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biothane ที่ค่าของอัตราการไหลของน้ำกับเวลาการทดลองต่างกัน (ข) กราฟ Contour ของการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biothane ที่ค่าของอัตราการไหลของน้ำกับเวลาการทดลองต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลของอัตราการไหลของน้ำ กับเวลาการทดลองที่มีต่อการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane พบว่าการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> สูงสุดอยู่ที่ 80% เมื่ออัตราการไหลของน้ำ 16 l/min และเวลาการทดลองอยู่ในช่วง 8-10 min เป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง และจากรูปเห็นได้ว่าถ้าอัตราการไหลของน้ำน้อยลง กับเวลาการทดลองที่น้อยลงนั้น จะทำให้การลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> นั้นไม่มีประสิทธิภาพ

#### 4.3 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane

สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ให้มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของ CO<sub>2</sub> มากที่สุดโดยกระบวนการ water scrubber ขึ้นอยู่กับสมการทำนายความสัมพันธ์ ซึ่งมีรูปแบบสมการเป็นแบบ Polynomial และเมื่อนำสมการไปสร้างพื้นผิวผลตอบสนอง (response surface) และ กราฟ contour พบว่าที่สภาวะของ อัตราการไหลของ Biohythane 3 l/min, อัตราการไหลของน้ำ 16 l/min และเวลาการทดลอง 9 min เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ซึ่งสภาวะดังกล่าวได้จากการแก้สมการทำนายความสัมพันธ์ ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตของตัวแปรอิสระ คือ อัตราการไหลของ Biohythane ( $3 \leq Q_{gas} \leq 12$ ), อัตราการไหลของน้ำ ( $8 \leq Q_{water} \leq 16$ ) และเวลาการทดลอง ( $5 \leq T \leq 11$ ) โดยใช้โปรแกรม excel solver กล่าวคือโปรแกรมการแก้สมการทำนายความสัมพันธ์ เพื่อหาการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ที่สูงที่สุด ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนด โดยค่าสูงสุดของการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane จากสมการทำนายความสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ 90.1% หลังจากนั้นได้นำสภาวะที่เหมาะสมที่สุดมาทดลองซ้ำ 2 ครั้ง พบว่าสามารถลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ได้เท่ากับ 84.12%

จากการทดลองเพื่อยืนยันผลจะเห็นได้ว่าปริมาณของก๊าซ CO<sub>2</sub> ที่ลดลงมีค่าเท่ากับ 84.12% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณของก๊าซ CO<sub>2</sub> ที่ลดลงที่ได้จากการทำนายคือ 90.1% แสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความน่าเชื่อถือและสามารถกล่าวได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 4.2 มีความแม่นยำเพียงพอ (ค่าความคลาดเคลื่อน 6.63%) เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ทำนายค่าปริมาณของก๊าซ CO<sub>2</sub> ที่ลดลง

จากตารางที่ 4.3 แสดงองค์ประกอบของ Biohythane ระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลอง จะเห็นได้ว่าเมื่อก๊าซ CO<sub>2</sub> ถูกกำจัดออกจากองค์ประกอบเดิม จะทำให้สัดส่วนของก๊าซอื่นๆ ภายในองค์ประกอบของก๊าซนั้นเพิ่มขึ้น และสัดส่วนของ CO<sub>2</sub> น้อยลง จะทำให้ประสิทธิภาพ เช่น ค่าความร้อน การเผาไหม้ และการนำไปใช้งานอื่นนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงองค์ประกอบของก๊าซ ก่อนและหลังการทดลอง

การทดลองที่	อัตราการไหล Biohythane (l/min)	ก่อนทดลอง (%)				หลังการทดลอง (%)				การลดปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub> ใน Biohythane
		H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	
1	10.18	6.85	6.25	50.34	36.56	8.36	7.62	61.43	22.58	79.48
2	7.5	6.85	6.25	50.34	36.56	8.96	8.17	65.84	17.02	80.39
3	4.82	6.85	6.25	50.34	36.56	7.82	7.12	57.40	27.66	41.27
4	10.18	6.85	6.25	50.34	36.56	7.82	7.13	57.44	27.60	32.77
5	10.18	6.85	6.25	50.34	36.56	7.59	6.92	55.77	29.72	44.70
6	7.5	6.85	6.25	50.34	36.56	7.85	7.15	57.62	27.39	50.12
7	7.5	6.85	6.25	50.34	36.56	7.80	7.11	57.31	27.77	39.26
8	3	6.85	6.25	50.34	36.56	8.92	8.13	65.48	17.48	72.64
9	4.82	6.85	6.25	50.34	36.56	7.80	7.11	57.32	27.76	36.18
10	10.18	6.85	6.25	50.34	36.56	7.29	6.64	53.54	32.52	25.35
11	7.5	6.85	6.25	50.34	36.56	7.85	7.15	57.62	27.39	50.12
12	7.5	6.85	6.25	50.34	36.56	7.26	6.61	53.30	32.83	13.58
13	4.82	6.85	6.25	50.34	36.56	8.65	7.89	63.56	19.89	58.40
14	7.5	6.85	6.25	50.34	36.56	7.85	7.16	57.66	27.33	43.31
15	12	6.85	6.25	50.34	36.56	7.70	7.02	56.58	28.69	45.34
16	4.82	6.85	6.25	50.34	36.56	8.68	7.91	63.76	19.64	59.48
17	7.5	6.85	6.25	50.34	36.56	7.85	7.15	57.62	27.39	50.12

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane สรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ด้วยระบบ Water scrubber หาได้ด้วยวิธี response surface methodology, RSM และออกแบบการทดลองแบบ central composite design, CCD มีตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร คือ เวลาการทดลอง, อัตราการไหลของน้ำและอัตราการไหลของ Biohythane มีสมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane กับตัวแปรอิสระ ดังแสดงในสมการที่ 5.1 ซึ่งเป็นรูปแบบสมการ Polynomial มีค่า coefficient of multiple determination,  $R^2 = 0.809$  และมีค่า  $R^2_{adjusted} = 0.694$  โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane คือ เวลาการทดลอง 9 min, อัตราการไหลของน้ำ 16 l/min และอัตราการไหลของ Biohythane 3 l/min ซึ่งทำให้ได้ปริมาณของก๊าซ CO<sub>2</sub> ที่ลดลง 90.1% และจากการทดลองซ้ำในสภาวะที่เหมาะสมเพื่อยืนยันผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำนวน 2 ครั้ง พบว่าได้ค่าปริมาณของก๊าซ CO<sub>2</sub> ที่ลดลงเฉลี่ย 84.12% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้สามารถทำนายค่าปริมาณของก๊าซ CO<sub>2</sub> ที่ลดลงได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองจริงและสามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้งานได้จริง และสมการความสัมพันธ์ที่ได้ผ่านการทดสอบค่า F-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 90%

$$CR = \beta_0 + \beta_1(Q_{gas}) + \beta_2(Q_{water}) + \beta_3(Q_{water}^2) + \beta_4(T^2) + \beta_5(Q_{water}^3) + \beta_6(T^3) \quad (5.1)$$

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการทดลองการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane ด้วยวิธี Water scrubber โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการกำจัดก๊าซ CO<sub>2</sub> นั้น ควรจะศึกษาถึงอุณหภูมิของน้ำที่นำมาทดลองซึ่งเป็นตัวแปรที่อาจจะส่งผลต่อการลดลงของก๊าซ CO<sub>2</sub> ได้

5.2.2 จากการทดลองปัญหาที่เกิดขึ้นและส่งผลต่อผลการทดลองมากที่สุด คือ การเก็บผลการทดลองและการตรวจวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยเครื่อง Gas chromatography การเก็บผลการทดลองควรเลือกถุงเก็บตัวอย่างก๊าซที่ไม่ซาร์ต เป็นของใหม่และใช้แล้วไม่ควรเกิน 2-3 ครั้ง เนื่องจากก๊าซบางชนิดที่ใช้ในการทดลองมีน้ำหนักเบากว่าอากาศสามารถลอยได้ง่าย หลังจากเก็บผลการทดลองแล้วไม่ควรเก็บผลการทดลองไว้เกิน 24-48 ชั่วโมง ถ้าจะให้เกิดผลดีมีประสิทธิภาพสูงควรจะทำการตรวจวิเคราะห์ทันทีหลังจากเก็บผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ก๊าซมีเทน หรือ CNG ที่เติมแต่ละครั้งควรตรวจสอบห้วงประกอบของก๊าซต่างๆ ใน CNG ก่อนจะทำการทดลองทุกครั้ง เนื่องจาก CNG ในแต่ละที่จะมีองค์ประกอบของก๊าซที่ไม่เท่ากัน

5.2.4 ในการทดลองทุกครั้งควรมีการป้องกันความปลอดภัย เช่น ถังดับเพลิง เครื่องตรวจจับก๊าซรั่ว เนื่องจากก๊าซที่นำมาจำลองมีคุณสมบัติการติดไฟได้ง่าย อาจจะทำให้เกิดอันตรายและความเสียหายขึ้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. พลังงานก๊าซชีวภาพ. 5 ed.
- [2] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. ประวัติ ความสำคัญ และสถานการณ์ปาล์มน้ำมันของไทย.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม2006.
- [4] ดร. กฤษ เอี่ยมฐานนท์. การศึกษาศักยภาพสินค้าเกษตรเพื่อรองรับการเข้าสู่ประชาคมอาเซียน (AEC.) กรณีศึกษาสินค้าน้ำมันปาล์ม2558.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. การเปลี่ยนของเสียเป็นพลังงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม2008.
- [6] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. การปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1 ed2553.
- [7] Shannon R. Bio-gas Conference Proceedings. Chapter Eight - Technology Stream
- [8] S.S. Kapdi, V.K. Vijay, S.K. Rajesh, Rajendra Prasad. Biogas scrubbing compression and storage: perspective and prospectus in Indian context. Renewable Energy. 2005;30:1195–202.
- [9] Virendra. Biogas Purification and Bottling into CNG cylinders. Producing Bio-CNG from Biomass for Rural Automotive Applications. 2006.
- [10] Bhattacharya TK, Mishra TN , Singh B. Techniques for removal of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S from biogas. Paper presented at XXIV annual convention of ISAE. 1988.
- [11] Khapre. Studies on biogas utilization for domestic cooking. Paper presented at XXV annual convention of ISAE. 1989.
- [12] Ersin Uresin. An experimental study for H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> removal via caustic scrubbing system. Process Safety and Environmental Protection. 2014.
- [13] Dubey. Wet scrubbing of carbon dioxide. Annual report of CIAE. 2000.
- [14] J. de Hullu et al. Comparing different biogas upgrading techniques. Eindhoven University of Technology. 2008.
- [15] Huy Thanh Vo , Tsuyoshi Imai , Jantima Teeka , Masahiko Sekine et al. Comparison of disinfection effect of pressurized gases of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and N<sub>2</sub> on Escherichia coli. water Research. 2013;47:4286-93.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] พิสิทธ์ราชมงคล. ก๊าซธรรมชาติ [15 เมษายน 2558]. Available from: <http://www.rmutphysics.com/charud/pdf-learning/5/energy/3.pdf>.
- [17] วิชาการ.คอม. ก๊าซธรรมชาติคืออะไร 2012 [15 เมษายน 2015]. Available from: <http://www.vcharkarn.com/varticle/43984>.
- [18] กลุ่มพัฒนามาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิง. ความรู้เกี่ยวกับก๊าซชีวภาพอัด. สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง. 2554.
- [19] E. Porpatham AR, and B. Nagalingam. Effect of hydrogen addition on the performance of a biogas fuelled spark ignition engine. Internation Journal of Hydrogen Energy. 2007;32:2057-65.
- [20] ศุภวัฒน์ ชาติจากรวมงคล. กรณีศึกษาอุบัติเหตุจากการติดตั้ง การใช้และการซ่อมบำรุงระบบ ก๊าซชีวภาพ.
- [21]. โครงการศูนย์ทางไกลเพื่อการศึกษาและพัฒนาชนบทในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ก๊าซชีวภาพ (Biogas)2550.
- [22] ศรีรัตน์ ช่วยบุญ. สมรรถนะของเครื่องยนต์สันดาปภายในชนิดจุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ดัดแปลงเพื่อใช้ก๊าซผสม  $\text{CH}_4, \text{H}_2$  และ  $\text{CO}_2$  เป็นเชื้อเพลิง: วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2556.
- [23] S.O-Thong CM, and P.Prasertsan. Effect of temperature and initial pH on biohydrogen production from palm oil mill effluent : Long-term evaluation and microbial community analysis. Electronic Journal of Biotechnology. 2011;14.
- [24] มนต์รี สี่พยัคฆ์. การประยุกต์ใช้ก๊าซธรรมชาติและก๊าซหุงต้มในระบบเชื้อเพลิงคู่กับเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบจุดระเบิดด้วยหัวเทียน: วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2548.
- [25] Reference Information.Lower and Upper Explosive Limits for Flammable Gases and Vapors (LEL/UEL) [15 เมษายน 2558]. Available from: [www.mathesonrigas.com](http://www.mathesonrigas.com).
- [26] Wikipedia. Wobbe index 2010 [15 April 2015]. Available from: [http://en.wikipedia.org/wiki/Wobbe\\_index](http://en.wikipedia.org/wiki/Wobbe_index).
- [27] ยศพงษ์ ลอนนวล และคณะ. An Analysis of Composition Variation of Natural Gas for Vehicles (NGV) in Thailand . 2550.
- [28] wikipedia. คาร์บอนไดออกไซด์ 2558 [15 เมษายน 2558]. Available from: <http://th.wikipedia.org/wiki/คาร์บอนไดออกไซด์>.
- [29] wikipedia. กรดคาร์บอนิก 2556 [15 เมษายน 2558]. Available from: <http://th.wikipedia.org/wiki/กรดคาร์บอนิก>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [30] iwebgas. ไฮโดรเจน 2551 [16 เมษายน 2558]. Available from: <http://www.iwebgas.com/smf/index.php?topic=309.0>.
- [31] การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.). Summary Chana Composition (Data from Online Gas Chromatograph)2011.
- [32] พูนสุข ประเสริฐสรรพ. การผลิตไฮโดรเจนและมีเทน (ไบโอไฮเทน) จากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการหมักไร้อากาศแบบสองขั้นตอนที่อุณหภูมิสูงและการประยุกต์ใช้ไบโอไฮเทน 2553.
- [33] Huy Thanh Vo, Tsuyoshi Imai, Jantima Teeka et al. Comparison of disinfection effect of pressurized gases of CO<sub>2</sub>,N<sub>2</sub>O, and N<sub>2</sub> on Escherichia coli. Water research. 2013;47:4286-93.
- [34] Teppaya TaP. Optimization of rubber wood drying by response surface method and multiple contour plots. 2004:1637-60.
- [35] Ghadge SVaR. Process optimization for biodiesel production from mahua (Madhuca indica) oil using response surface methodology. Bioresource Technology. 2005:379-84.
- [36] กองนโยบายและแผนพลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์2543.
- [37] Energy reform 2013 [31 May 2015]. Available from: [www.energy-reform.com/Available](http://www.energy-reform.com/Available).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การคำนวณการปรับแก้อัตราการไหลของ CNG (CH<sub>4</sub>)

การคำนวณการปรับแก้อัตราการไหล เนื่องจากส่วนประกอบของ CNG มี CO<sub>2</sub> ปะปนอยู่ภายใน ดังนั้นเพื่อให้ได้อัตราการไหลของ CO<sub>2</sub> ตามแบบการทดลอง จึงต้องคิดสัดส่วน CO<sub>2</sub> ใน CNG แล้วนำมาลบกับอัตราการไหล CO<sub>2</sub> ของเดิม เพื่อจะได้อัตราการไหลสุทธิ

จากตารางที่ 3.2 จะได้

ส่วนประกอบ	อัตราส่วน (%)
CH <sub>4</sub> (%)	74.528
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> Ethane (%)	2.414
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> Propane (%)	0.694
CO <sub>2</sub> ใน CNG (%)	6.242
N <sub>2</sub>	15.615
อื่นๆในCNG (%)	0.507

ตัวอย่างการคำนวณที่อัตราการไหลของ Biohythane 3 V/min ซึ่งมีอัตราการไหลประกอบด้วย CH<sub>4</sub> 1.6002 V/min, CO<sub>2</sub> 1.1736 V/min และ H<sub>2</sub> 0.2262

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหล CH}_4 \text{ ใน CNG} &= (74.528/100) \times 3 \\ &= 2.23584 \quad \text{V/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหล CNG} &= (3/2.23584) \times 1.6002 \\ &= 2.14711249 \quad \text{V/min} \end{aligned}$$

อัตราการไหลส่วนประกอบของ CNG

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 &= (74.528/100) \times 2.14711249 \\ &= 1.6002 \quad \text{V/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{C}_2\text{H}_6 \text{ Ethane} &= (2.414/100) \times 2.14711249 \\ &= 0.051831296 \quad \text{V/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{C}_3\text{H}_8 \text{ Propane} &= (0.694/100) \times 2.14711249 \\ &= 0.014900961 \quad \text{V/min} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\text{CO}_2 \text{ ใน CNG} &= (6.242/100) \times 2.14711249 \\ &= 0.134022762 \quad \text{V/min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{N}_2 &= (15.615/100) \times 2.14711249 \\ &= 0.335271616 \quad \text{V/min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{อื่นๆ} &= (0.507/100) \times 2.14711249 \\ &= 0.01088586 \quad \text{V/min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{อัตราการไหลจริงของ CO}_2 &= 1.1736 - 0.134022762 \\ &= 1.039577 \quad \text{V/min}\end{aligned}$$

อัตราการไหลของ CO<sub>2</sub> ได้จากการเอาอัตราการไหล CO<sub>2</sub> ของการทดลองลบด้วยอัตราการไหล CO<sub>2</sub> ในส่วนผสมของ CNG

อัตราการไหลของ Biohythane ที่ 3 V/min หลังปรับค่าจะได้ดังนี้ CH<sub>4</sub> 2.15 V/min, CO<sub>2</sub> 1.04 V/min และ H<sub>2</sub> 0.230 V/min

อัตราการไหลของ Biohythane ทั้งหมดหลังปรับค่า

อัตราการไหล Biohythane (L/min)	CNG (L/min)	H <sub>2</sub> (L/min)	CO <sub>2</sub> (L/min)
3	2.15	0.230	1.04
4.82	3.45	0.380	1.67
7.5	5.37	0.530	2.60
10.18	7.29	3.530	0.60
12	8.59	0.900	4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับ CNG

### 1.1 ถังก๊าซธรรมชาติอัด [36]

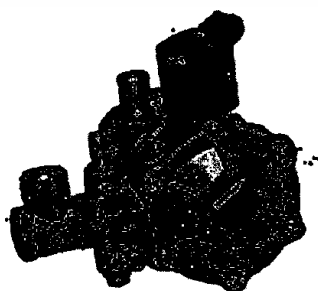
ถังก๊าซที่ใช้บรรจุเป็นถังก๊าซธรรมชาติอัดยี่ห้อ NK แบบ NGV-I ซึ่งผลิตจากเหล็กตามมาตรฐาน ISO 11439 ดังแสดงในรูปที่ ข.1 โดยได้ทำการทดสอบคุณภาพถังจากการอัดด้วยความดัน 300 บาร์ ซึ่งสูงกว่าความดันใช้งาน 1.5 เท่า ปริมาตรการจุน้ำ 100 ลิตร ความยาวถัง 52 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 15.7 นิ้ว ความดันใช้งาน 200-240 บาร์ บรรจุก๊าซได้ 1063 ลูกบาศก์ฟุต ความหนาแน่นสุดของถัง 0.29 นิ้ว



รูปที่ ข.1 ถังก๊าซธรรมชาติอัด

### 1.2 อุปกรณ์ปรับลดความดัน (Pressure regulator)

อุปกรณ์ปรับลดความดัน (Pressure regulator) ทำหน้าที่ปรับลดแรงดันก๊าซธรรมชาติจากถังบรรจุก๊าซ ซึ่งมีแรงดันประมาณ 20 บาร์ ให้ลดลงเหลือ 1.8 บาร์ [37] หรือให้มีความดันตามที่ต้องการเพื่อให้ก๊าซมีความดันที่เหมาะสมก่อนจ่ายให้กับเครื่องยนต์ ในการปรับลดความดันจากสูงไปต่ำ ต้องอาศัยความร้อนจากน้ำในระบบหล่อเย็นของเครื่องยนต์มาใช้ เพื่อป้องกันการจับตัวเป็นน้ำแข็งบนแผ่นไดอะแฟรม ซึ่งเป็นผลมาจากการลดความดันของก๊าซ ขณะผ่านอุปกรณ์ปรับลดความดัน ดังแสดงในรูปที่ ข.2

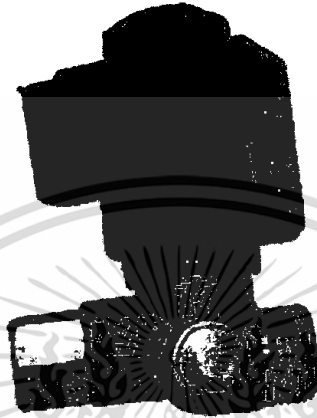


รูปที่ ข.2 อุปกรณ์ปรับลดความดัน (Pressure regulator) [37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve)

เป็นอุปกรณ์ด้านความปลอดภัย ซึ่งทำหน้าที่เปิดและปิดการไหลก๊าซธรรมชาติเข้าสู่เครื่องยนต์ (รูปที่ ข.3) โดยเป็นวาล์วที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 12 V<sub>DC</sub> มาควบคุมการเปิดปิดวาล์ว มีความสามารถในการทดแทนแรงดันสูงสุด 260 บาร์ สามารถรองรับการใช้งานที่อุณหภูมิ -40 ถึง 120 องศาเซลเซียส [37]



รูปที่ ข.3 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve) [37]

### 1.4 เกจวัดความดัน (Pressure gauge)

ทำหน้าที่วัดความดันก๊าซในถังก่อนเข้าอุปกรณ์ลดความดัน (หม้อต้ม) ซึ่งเทียบเท่ากับความดันที่ได้จากถังก๊าซ ดังแสดงในรูปที่ ข.4 [37]

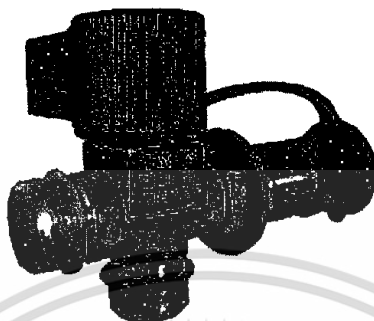


รูปที่ ข.4 เกจวัดความดัน (Pressure gauge) [37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 วาล์วเปิด-ปิด พร้อมหัวเติมก๊าซธรรมชาติ

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เติมก๊าซธรรมชาติโดยมีวาล์วกันกลับ (Check valve) ต่ออยู่กับหัวเติมก๊าซ สามารถเปิด-ปิด เมื่อเกิดเหตุขัดข้อง ดังแสดงในรูปที่ ข.5 [37]



รูปที่ ข.5 วาล์วเปิด-ปิด พร้อมหัวเติมก๊าซธรรมชาติ [37]

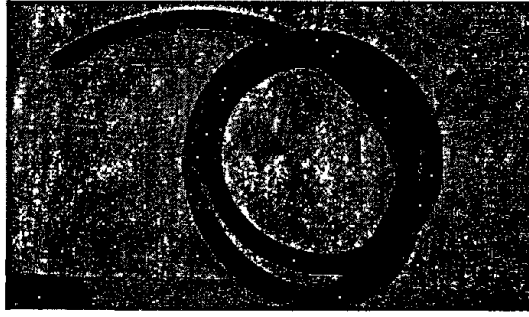
### 1.6 ท่อก๊าซ

ท่อก๊าซที่ใช้ในการทดลองมี 3 ประเภท คือ 1) ท่อก๊าซความดันสูง (Hi-Pressure Steel pipe) (รูปที่ ข. 6) ใช้เป็นทางเดินเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติจากถังบรรจุก๊าซธรรมชาติไปยังหัวเติมก๊าซ พร้อมวาล์วเปิด-ปิด ผ่าน Solenoid valve มาสิ้นสุดบริเวณทางเข้าหม้อต้ม (inlet regulator) ซึ่งทนแรงดันได้สูงสุด 300 บาร์ 2) ท่อก๊าซความดันต่ำ (low pressure pipe) (รูปที่ ข.7) เป็นท่ออย่างทนความดันได้ 10 บาร์ ใช้นำก๊าซความดันต่ำที่ออกจากอุปกรณ์ปรับลดความดันต่อไปยังท่อทองแดง 3) ท่อทองแดง (รูปที่ ข.8) ทำหน้าที่ส่งก๊าซผ่าน flow meter ไหลต่อไปยัง mixture ซึ่งท่อทองแดงนั้นสามารถรับความดันได้สูงและมีความแข็งแรงลดอัตราเสี่ยงในเรื่องก๊าซรั่วได้

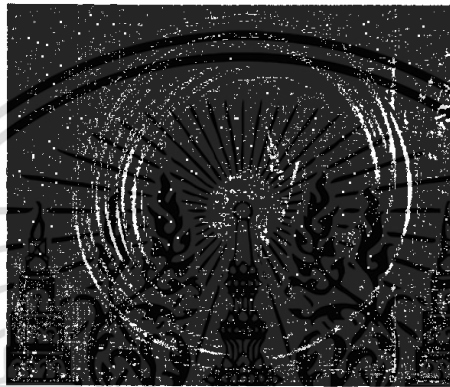


รูปที่ ข.6 ท่อก๊าซความดันสูง (Hi-Pressure Steel pipe) [37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



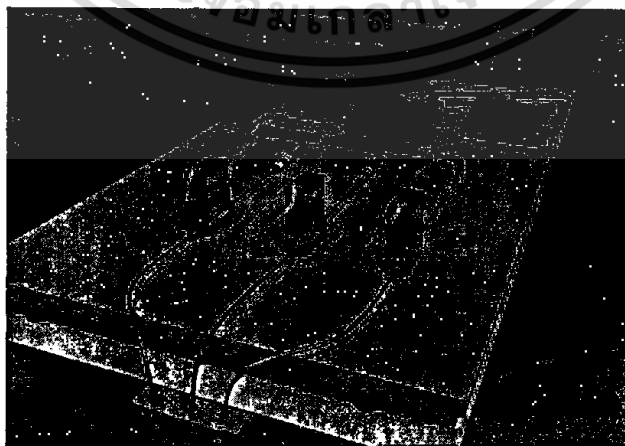
รูปที่ ข.7 ท่อก๊าซความดันต่ำ (Low-Pressure pipe)



รูปที่ ข.8 ท่อทองแดง

## 2. อุปกรณ์ที่ใช้วัดและควบคุมอัตราการไหลของก๊าซทั้ง 3 ชนิด (CNG, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>)

อุปกรณ์ที่ใช้วัดและควบคุมอัตราการไหลของก๊าซสามารถวัดได้โดยใช้ mass flow controller โดยมีการติดตั้ง mass flow controller ไว้ระหว่างท่อของก๊าซทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ ข.9 และรายละเอียดต่างๆมีดังนี้



รูปที่ ข.9 การติดตั้ง mass flow controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1 CNG mass flow controller

- สามารถควบคุมอัตราการไหลตั้ง 0-15 L/min
- Sensor ของ mass flow controller เป็นแบบ Thermal Coil Sensor
- สามารถควบคุมอัตราการไหล (Control range) ได้ ตั้งแต่ 2% - 100% F.S. และ

Response Time ไม่เกิน 2 วินาที

- ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ไม่เกิน  $\pm 1.5\%$  F.S.
- Proof pressure 980 kPa
- วัสดุที่สัมผัสแก๊สประกอบด้วย Viton, PTFE และ SUS316
- วาล์วเป็นแบบ Poppet Valve
- Method of display เป็นแบบ 7-Segment LED in 4 digitals และมีความแม่นยำ

ของหน้าจอ  $\pm 0.1\%$

### 2.2 H<sub>2</sub> mass flow controller

- สามารถควบคุมอัตราการไหลตั้ง 0-2 L/min
- Sensor ของ mass flow controller เป็นแบบ Thermal Coil Sensor
- สามารถควบคุมอัตราการไหล (Control range) ได้ ตั้งแต่ 2% - 100% F.S. และ

Response Time ไม่เกิน 2 วินาที

- ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ไม่เกิน  $\pm 1.5\%$  F.S.
- Proof pressure 980 kPa
- วัสดุที่สัมผัสแก๊สประกอบด้วย Viton, PTFE และ SUS316
- วาล์วเป็นแบบ Poppet Valve
- Method of display เป็นแบบ 7-Segment LED in 4 digitals และมีความแม่นยำ

ของหน้าจอ  $\pm 0.1\%$

### 2.3 CO<sub>2</sub> mass flow controller

- สามารถควบคุมอัตราการไหลตั้ง 0-10 L/min
- Sensor ของ mass flow controller เป็นแบบ Thermal Coil Sensor
- สามารถควบคุมอัตราการไหล (Control range) ได้ ตั้งแต่ 2% - 100% F.S. และ

Response Time ไม่เกิน 2 วินาที

- ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ไม่เกิน  $\pm 1.5\%$  F.S.
- Proof pressure 980 kPa
- วัสดุที่สัมผัสแก๊สประกอบด้วย Viton, PTFE และ SUS316
- วาล์วเป็นแบบ Poppet Valve
- Method of display เป็นแบบ 7-Segment LED in 4 digitals และมีความแม่นยำ

ของหน้าจอ  $\pm 0.1\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ก๊าซที่ใช้ในการจำลอง Biohythane และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 ก๊าซธรรมชาติอัด CNG

เนื่องจากต้องใช้ก๊าซในปริมาณมากและใช้อย่างต่อเนื่อง จึงมีความจำเป็นต้องสร้างชุด mobile gas packs เป็นชุดถังก๊าซธรรมชาติพร้อมสายเติมแรงดันสูง ทำให้มีความสะดวกในการเติมก๊าซและการใช้งาน ประกอบด้วยถังก๊าซธรรมชาติอัดจำนวน 4 ถัง 1 ชุด ดังแสดงในรูปที่ ข.10



รูปที่ ข.10 ก๊าซธรรมชาติอัด CNG

#### 3.1.1 ถังน้ำร้อน

ถังน้ำร้อนใช้แทนน้ำหม้อน้ำของเครื่องยนต์ เนื่องจากการทดลองไม่มีเครื่องยนต์ จึงจำเป็นต้องใช้ถังน้ำร้อนที่ให้ความร้อนอุณหภูมิประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส เพื่อจ่ายน้ำให้แก่หม้อต้ม



รูปที่ ข.11 ถังน้ำร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 ฮีทเตอร์

ฮีทเตอร์ทำหน้าที่ต้มน้ำในถังน้ำร้อนให้มีอุณหภูมิประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส ขนาด 3000 watt ใช้แรงดันไฟฟ้า 220 V<sub>AC</sub>



รูปที่ ข.12 ฮีทเตอร์

### 3.1.3 ปุ่มติด

ปุ่มติด ทำหน้าที่ดูดน้ำจากหม้อต้มไหลเวียนกลับไปยังถังน้ำร้อน ใช้แรงดันไฟฟ้า

12 V<sub>DC</sub>

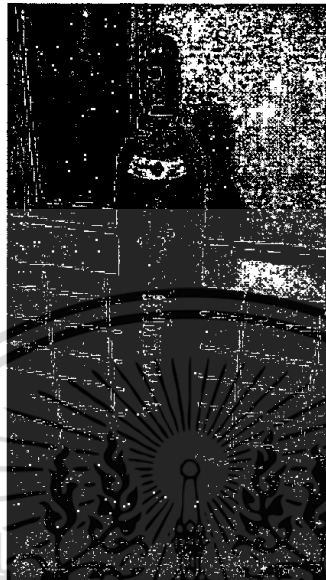


รูปที่ ข.13 ปุ่มติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ก๊าซไฮโดรเจน

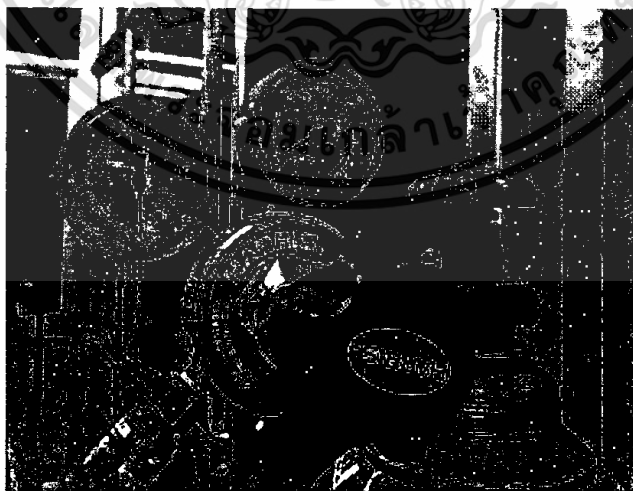
ก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้เป็นก๊าซท่อมี่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป มีปริมาตร 6 ลูกบาศก์เมตรต่อท่อ และมีความบริสุทธิ์อยู่ที่ 95% ดังแสดงในรูปที่ ข.14



รูปที่ ข.14 ถังก๊าซไฮโดรเจน

#### 3.2.1 อุปกรณ์ลดความดันของไฮโดรเจน

อุปกรณ์ลดความดันของไฮโดรเจนทำหน้าที่ ลดความดันของก๊าซไฮโดรเจนให้ได้ตามความต้องการของการทดลองโดยสามารถทนความดันสูงสุดได้ 300 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ ข.15

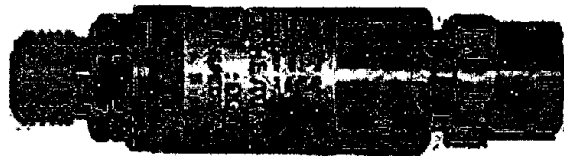


รูปที่ ข.15 อุปกรณ์ลดความดันของไฮโดรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 อุปกรณ์กันไฟย้อนกลับ (flashback arrestors)

อุปกรณ์กันไฟย้อนกลับเป็นอุปกรณ์ด้านความปลอดภัย ทำหน้าที่ป้องกันไฟย้อนกลับเข้าถัง ดังแสดงในรูป ข.16



รูปที่ ข.16 อุปกรณ์กันไฟย้อนกลับ

### 3.3 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้เป็นเป็นก๊าซทอที่ใช้งานอุตสาหกรรมทั่วไป มีน้ำหนักบรรจุอยู่ที่ 30 กิโลกรัม และมีความบริสุทธิ์อยู่ที่ 99.99 % ดังแสดงในรูปที่ ข.17



รูปที่ ข.17 ถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1 อุปกรณ์ลดความดันของคาร์บอนไดออกไซด์

อุปกรณ์ลดความดันของคาร์บอนไดออกไซด์ทำหน้าที่ ลดความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ให้ได้ตามความต้องการของการทดลองโดยสามารถทนความดันสูงสุดได้ 300 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ ข.18



รูปที่ ข.18 อุปกรณ์ลดความดันของคาร์บอนไดออกไซด์

### 4. อุปกรณ์ผสมก๊าซ (Gas mixture)

มีลักษณะภายในเป็นใบพัดเพื่อให้ทำหน้าที่ผสมก๊าซทั้ง 3 ชนิดเป็น Biohythane ได้ดีขึ้น ก่อนจะเข้าสู่ถังพัก ดังแสดงในรูปที่ ข.19

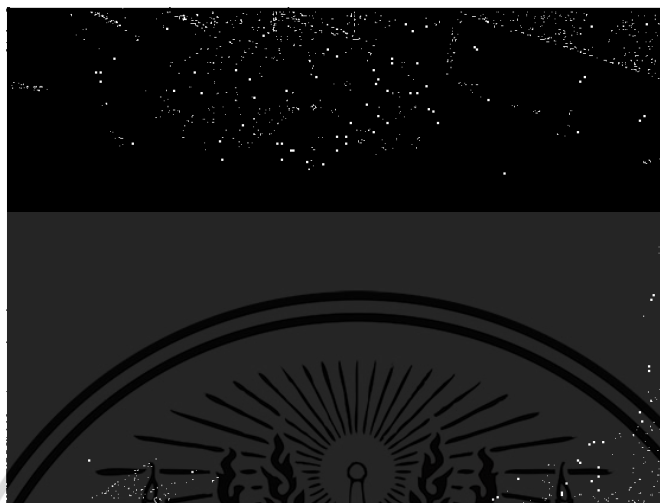


รูปที่ ข.19 อุปกรณ์ผสมก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. ถังพักก๊าซ

ทำหน้าที่เก็บสะสมก๊าซก่อนจะเข้าถัง Scrubber เพื่อให้อัตราการไหลของก๊าซคงที่และไหลอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ ข.20



รูปที่ ข.20 ถังพักก๊าซ

## 6. ถัง Water Scrubber

ถัง Water Scrubber มีขนาดไม่เกิน 15 ลิตรน้ำ ถังประกอบด้วยเกจวัดความดัน 2 ตัว ภายในของถังจะมีลักษณะเป็นรูปถ้วย เพื่อให้ น้ำและ Biohythane ไหลไปกระทบเพื่อการกำจัดก๊าซ  $\text{CO}_2$  ใน Biohythane

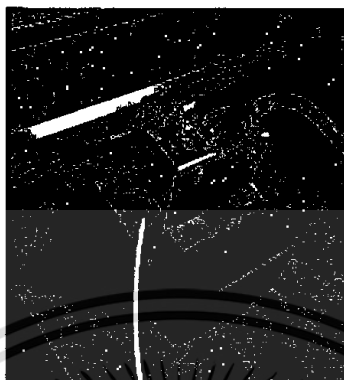


รูปที่ ข.21 ถัง Water Scrubber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. บีมน้ำ

บีมน้ำที่ใช้เป็นบีมน้ำที่สามารถปรับค่าอัตราการไหลของน้ำได้ โดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำตั้งแต่ 0-30 L/min



รูปที่ ข.22 บีมน้ำ

## 8. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ Rotameter

Flow Range	: 3 -30 LPM
Material Tube	: Polycarbonate
Material Float	: ABS
Material O ring	: EPDM
Accuracy	: +5% , Temp : 60 C
Working Pressure	: 10 Bar
Connection	: 3/4" FNPT



รูปที่ ข.23 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ Rotameter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 9. อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซรั่ว (Gas leak detector)

เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ ชนิดพกพา รุ่น MX4 Ventis ยี่ห้อ ISC ประเทศสหรัฐอเมริกา สามารถวัดก๊าซได้สูงสุด 4 ก๊าซ โดยก๊าซที่สามารถวัดได้มี CO, H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, LEL, CH<sub>4</sub> และ SO<sub>2</sub> โดยมีรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องดังนี้

1) เครื่องมือตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ ได้แก่ กลุ่มก๊าซไวไฟ ก๊าซพิษ และก๊าซออกซิเจน ชนิดพกพา

2) เซนเซอร์เป็นชนิด Catalytic และชนิด Electrochemical (ขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซ)

3) ตัวเรือนผลิตจากวัสดุ Polycarbonate หุ้มด้วยยางกันกระแทก

4) มีการเตือนด้วยสัญญาณเสียงดังประมาณ 95 เดซิเบล ไฟกระพริบและระบบสั่น

5) แหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่ชนิด Lithium-ion

6) ช่วงการวัด

- คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) : 0 - 1,000 ppm

- ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) : 0 - 500 ppm

- ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) : 0 - 150 ppm

- ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) : 0 - 150 ppm

- ออกซิเจน (O<sub>2</sub>) : 0 - 30 %Vol.

- ก๊าซไวไฟ (LEL) : 0 - 100 %LEL

- มีเทน (CH<sub>4</sub>) : 0 - 5 % by Vol.

7) ความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสำหรับการทำงาน ตั้งแต่ 15 ถึง 95 %RH โดยไม่เกิดการควบแน่นของไอน้ำ



รูปที่ ข.24 อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซรั่ว (Gas leak detector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 10. ถุงเก็บตัวอย่างก๊าซ (Gas Sample Bags)

1) ถุงเก็บตัวอย่างก๊าซที่ทำมาจากวัสดุประเภท FlexFoil ประกอบด้วย Septum Fitting ที่ทำมาจาก Polypropylene

2) สามารถเก็บก๊าซได้หลากหลายเช่น CO , CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub> , CH<sub>4</sub> , H<sub>2</sub>s , Sulfur Compounds , VOCs , O<sub>2</sub>

3) ปริมาณความจุ 1 ลิตร

4) มีคุณสมบัติในการเก็บสารประกอบที่มีโมเลกุลน้ำหนักเบาและสารเคมีประเภทก๊าซ

เฉื่อย

5) ควรใช้งานทางด้าน การเก็บอากาศที่เป็นมลพิษ

6) คุณสมบัติของ Septum Fitting

- เป็นฉนวนทนความร้อนสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 93.3 °C

- มีน้ำหนักเบา หนาแน่นต่ำ

- มีความแข็งแรง และค่ามอดูลัสต่อน้ำหนักสูง

- มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่ดี (ทนต่อสารเคมีและความชื้น , แรงดึงและ

รอยขีดข่วนได้ดี)



รูปที่ ข.25 ถุงเก็บตัวอย่างก๊าซ (Gas Sample Bags)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 11. Gas chromatography

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์แก๊สซึ่งใช้ในการแยกสารที่ระเหยง่าย โดยสารผสมจะถูกฉีดเข้าไปในคอลัมน์ (Column) ที่บรรจุด้วยสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดจับเรียกว่า Stationary Phase และมีแก๊สพา (Carrier Gas) เป็น Mobile Phase เคลื่อนที่ไปตามคอลัมน์เข้าสู่เครื่องตรวจจับสัญญาณ (Detector) และจะถูกส่งไปบันทึกเป็น Chromatogram ยังเครื่องบันทึก (Recorder) ต่อไป เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ใช้เครื่อง GC-2014 ของบริษัท Shimadzu ดังรูปที่ ข.26



รูปที่ ข.26 Gas chromatography

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการออกแบบแผนการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง

### 1. กำหนดตัวแปรอิสระ

ตัวแปรที่จะทำการศึกษามีทั้งหมด 3 ตัวแปร คือ เวลาการทดลอง ( $T$ ), อัตราการไหลของ Biohythane ( $Q_{gas}$ ) และอัตราการไหลของน้ำ ( $Q_{water}$ ) เพื่อวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนอง การลดปริมาณก๊าซ  $CO_2$  ใน Biohythane (CR)

### 2. กำหนดช่วงของตัวแปรอิสระ

การกำหนดช่วงของตัวแปรอิสระมีความสำคัญมากต่อสถานะที่เหมาะสมที่สุดของผลตอบสนองที่ทำการศึกษา ซึ่งช่วงของตัวแปรอิสระไม่ควรกว้างเกินไปจนไม่สามารถระบุสถานะที่เหมาะสมได้อย่างชัดเจน จึงได้กำหนดช่วงการแปรค่าของตัวแปรอิสระในโปรแกรม essential experimental design and essential regression version 2.209 ดังแสดงในรูปที่ ค.1 และได้แสดงผลของช่วงการแปรค่าของตัวแปรอิสระในตารางที่ ค.1

Factor Name	Units	Low Value	High Value
เวลาการทดลอง	min	5	11
อัตราการไหลของน้ำ	l/min	8	16
อัตราการไหลของ Biohythane	l/min	3	12

รูปที่ ค.1 ช่วงการแปรค่าของตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ค.1 แสดงช่วงการแปรค่าของตัวแปรอิสระ

ตัวแปรอิสระ	หน่วย	Code ระดับของตัวแปร				
		-1.68	-1	0	1	1.68
อัตราการไหลของ biohythane	l /min	3	4.82	7.50	10.18	12
อัตราการไหลของน้ำ	l /min	8	9.62	12	14.38	16
เวลาการทดลอง	min	5	6.13	8	9.46	11

### 3. เลือกวิธีวิเคราะห์การวางแผนการทดลอง

ออกแบบการทดลองด้วยวิธี Central Composite Design (CCD) โดยมี 3 ตัวแปรอิสระ ที่ 5 ระดับของ code ตัวแปรอิสระ และมีตัวแปรผลตอบสนอง 1 ตัว ดังแสดงในรูปที่ ค.2

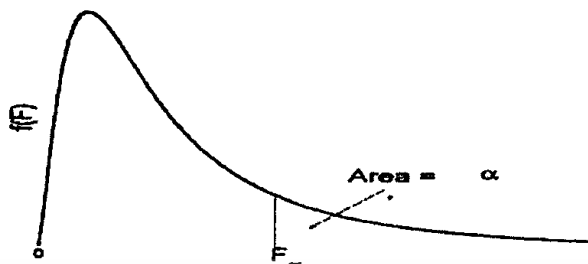
The screenshot shows the 'Design-Expert' software interface. The 'Input Data' section is set to 3 factors, 3 centerpoints, and 1 response. The '2 Level Screening Designs' section shows 'Higher Resolution' selected with 'Full Factorial' chosen. The 'Response Surface Designs' section shows 'Second Order Models' selected with 'Central Composite' chosen. The 'Current Design (17 Runs)' section summarizes the design as a Central Composite Design with 3 factors, 14 model points, and 3 centerpoints. Buttons for 'Exit', 'Help', and 'Make DOE' are visible on the right.

รูปที่ ค.2 วิธีวิเคราะห์การวางแผนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ค่าเปอร์เซ็นต์  $f_{0.10, v_1, v_2}$  ของการแจกแจงแบบเอฟตารางค่าวิกฤตการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอฟ ที่  $\alpha = 0.10$ 

v2	v1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3.08836	4.95000	6.35932	6.68330	67.2401	6.82044	6.89080	6.94390	6.98678
2	8.6263	9.0000	9.1618	9.2434	9.2926	9.3265	9.3491	9.3668	9.3806
3	5.5383	5.4824	5.3908	5.3428	5.3082	5.2847	5.2662	5.2517	5.2400
4	4.5448	4.3246	4.1909	4.1072	4.0506	4.0097	3.9790	3.9549	3.9357
5	4.0804	3.7797	3.6196	3.5202	3.4530	3.4046	3.3879	3.3793	3.3783
6	3.7759	3.4833	3.2888	3.1808	3.1075	3.0548	3.0145	2.9830	2.9577
7	3.5894	3.2674	3.0741	2.9605	2.8833	2.8274	2.7849	2.7516	2.7247
8	3.4579	3.1131	2.9238	2.8064	2.7264	2.6683	2.6241	2.5893	2.5612
9	3.3603	3.0065	2.8129	2.6927	2.6106	2.5509	2.5063	2.4694	2.4403
10	3.2850	2.9245	2.7277	2.6053	2.5216	2.4606	2.4140	2.3772	2.3473
11	3.2252	2.8596	2.6602	2.5362	2.4512	2.3891	2.3416	2.3040	2.2735
12	3.1765	2.8068	2.6055	2.4801	2.3940	2.3310	2.2828	2.2446	2.2135
13	3.1362	2.7632	2.5603	2.4337	2.3467	2.2830	2.2341	2.1963	2.1638
14	3.1022	2.7265	2.5222	2.3947	2.3069	2.2426	2.1931	2.1539	2.1220
15	3.0732	2.6952	2.4898	2.3614	2.2730	2.2081	2.1582	2.1185	2.0862
16	3.0481	2.6682	2.4619	2.3327	2.2438	2.1783	2.1280	2.0880	2.0553
17	3.0262	2.6446	2.4374	2.3077	2.2183	2.1524	2.1017	2.0613	2.0284
18	3.0070	2.6239	2.4160	2.2858	2.1958	2.1296	2.0785	2.0379	2.0047
19	2.9899	2.6058	2.3970	2.2663	2.1760	2.1094	2.0580	2.0171	1.9836
20	2.9747	2.5893	2.3801	2.2489	2.1582	2.0913	2.0397	1.9986	1.9649
21	2.9610	2.5746	2.3649	2.2333	2.1423	2.0751	2.0238	1.9819	1.9480
22	2.9486	2.5613	2.3512	2.2193	2.1279	2.0606	2.0084	1.9668	1.9327
23	2.9374	2.5499	2.3387	2.2065	2.1149	2.0472	1.9949	1.9531	1.9189
24	2.9271	2.5383	2.3274	2.1949	2.1030	2.0351	1.9826	1.9407	1.9063
25	2.9177	2.5283	2.3170	2.1842	2.0922	2.0241	1.9714	1.9292	1.8947
26	2.9091	2.5191	2.3075	2.1745	2.0822	2.0139	1.9610	1.9188	1.8841
27	2.9012	2.5106	2.2987	2.1665	2.0730	2.0045	1.9515	1.9091	1.8743
28	2.8938	2.5028	2.2906	2.1571	2.0645	1.9959	1.9427	1.9001	1.8652
29	2.8870	2.4956	2.2831	2.1494	2.0566	1.9878	1.9345	1.8918	1.8568
30	2.8807	2.4887	2.2761	2.1422	2.0492	1.9803	1.9269	1.8841	1.8490
40	2.8554	2.4404	2.2261	2.0910	1.9968	1.9269	1.8725	1.8288	1.7929
60	2.7911	2.3933	2.1774	2.0410	1.9457	1.8747	1.8194	1.7748	1.7380
120	2.7478	2.3473	2.1300	1.9923	1.8969	1.8238	1.7675	1.7220	1.6842
$\infty$	2.7066	2.3026	2.0838	1.9449	1.8473	1.7741	1.7167	1.6702	1.6316

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane กับตัวแปรอิสระ ก่อนพิจารณานัยสำคัญของแต่ละพจน์

$$CR = \beta_0 + \beta_1(Q_{gas}) + \beta_2(Q_{water}) + \beta_3(T) + \beta_4(Q_{gas}^2) + \beta_5(Q_{water}^2) + \beta_6(T^2) + \beta_7(Q_{gas}^3) + \beta_8(Q_{water}^3) + \beta_9(T^3) \quad (จ.1)$$

ค่าสัมประสิทธิ์กับค่าทางสถิติของสมการทำนายความสัมพันธ์ของสมการที่ จ.1

Summary	
R	0.934
R <sup>2</sup>	0.873
R <sup>2</sup> adjusted	0.709
Standard Error	9.656
# Points	17
PRESS	2954.87
R <sup>2</sup> for Prediction	0.424
Durbin-Watson d	1.336
First Order Autocorrelation	0.188
Collinearity	0.000
Coefficient of Variation	19.957
Precision Index	10009405531808900.000

ANOVA						
Source	SS	SS%	MS	F	F Signif	df
Regression	4476.6	87	497.40	5.335	0.01906	9
Residual	652.67	13	93.24			7
LOF Error	652.67	13 (100)	130.53	1.72E+30	5.80163E-31	5
Pure Error	1.51E-28	0 (0)	7.57E-29			2
Total	5129.3	100				16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Term	Regression coefficients	P value	Std Error	-90%	90%
$\beta_0$	-360.62	0.441	441.25	-1196.6	475.35
$\beta_1$	-36.23	0.182	24.44	-82.52	10.07
$\beta_2$	175.98	0.09686	91.83	1.991	349.96
$\beta_3$	-108.73	0.297	96.58	-291.71	74.26
$\beta_4$	4.546	0.227	3.431	-1.954	11.05
$\beta_5$	-14.22	0.110	7.779	-28.95	0.522
$\beta_6$	15.56	0.244	12.23	-7.608	38.73
$\beta_7$	-0.185	0.261	0.151	-0.472	0.102
$\beta_8$	0.387	0.115	0.216	-0.02113	0.796
$\beta_9$	-0.694	0.211	0.504	-1.649	0.261

\*ที่ระดับความเชื่อมั่น 90%

สมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane กับตัวแปรอิสระ  
หลังจากพิจารณานัยสำคัญของแต่ละพจน์

$$CR = \beta_0 + \beta_1(Q_{gas}) + \beta_2(Q_{water}) + \beta_3(Q_{water}^2) + \beta_4(T^2) + \beta_5(Q_{water}^3) + \beta_6(T^3) \quad (จ.2)$$

ค่าสัมประสิทธิ์กับค่าทางสถิติของสมการทำนายความสัมพันธ์ของสมการที่ จ.2

Summary	
R	0.899
R <sup>2</sup>	0.809
R <sup>2</sup> adjusted	0.694
Standard Error	9.899
# Points	17
PRESS	2589.29
R <sup>2</sup> for Prediction	0.495
Durbin-Watson d	1.392
First Order Autocorrelation	0.093

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


Collinearity	0.000
Coefficient of Variation	20.459
Precision Index	11963527854047900.000

ANOVA						
Source	SS	SS%	MS	F	F Signif	df
Regression	4149.4	81	691.56	7.058	0.00378	6
Residual	979.87	19	97.99			10
LOF Error	979.87	19 (100)	122.48	1.617E+30	6.182E-31	8
Pure Error	1.514E-28	0 (0)	7.57E-29			2
Total	5129.3	100				16

Term	Regression coefficients	P value	Std. Error	-90%	90%
$\beta_0$	-747.02	0.06725	363.99	-1406.7	-87.30
$\beta_1$	-1.613	0.138	1.001	-3.428	0.201
$\beta_2$	180.13	0.08451	94.06	9.641	350.61
$\beta_3$	-14.39	0.101	7.973	-28.84	0.06240
$\beta_4$	2.082	0.04682	0.919	0.417	3.748
$\beta_5$	0.387	0.110	0.221	-0.01325	0.788
$\beta_6$	-0.154	0.06508	0.07418	-0.288	-0.01924

\*ที่ระดับความเชื่อมั่น 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central sunburst with a crown on top, flanked by two traditional Thai stupas. Below the sunburst is a decorative scrollwork element. The entire emblem is surrounded by a circular border containing the university's name in Thai script: "มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์".

ภาคผนวก ฉ

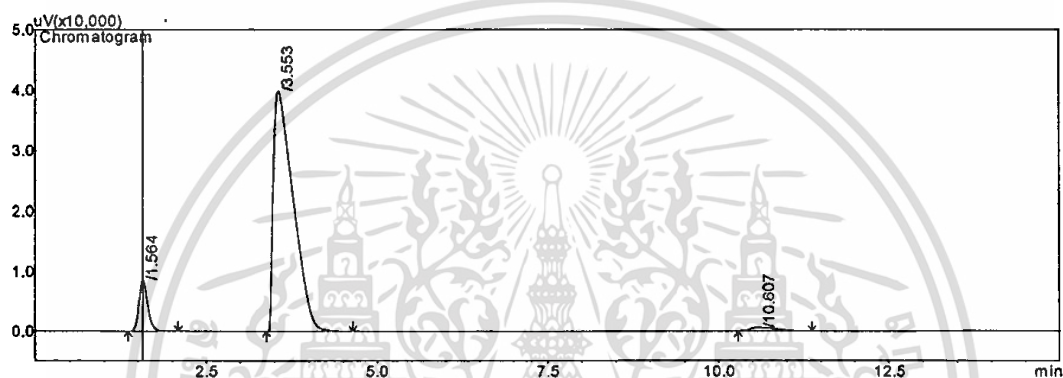
ผลการวิเคราะห์มาตรฐานของก๊าซ  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$  และ  $CO_2$  และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติ  
โดยใช้ Gas Chromatography (GC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการวิเคราะห์มาตรฐานของก๊าซ H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> และ CO<sub>2</sub>

Gas	Ret.Time	Area	Height	%	Cofactor (a)
H <sub>2</sub>	1.04	5618420.3	-	100	1.77986E-05
N <sub>2</sub>	1.789	80209	6784.7	5	6.23371E-05
CH <sub>4</sub>	4.256	902378.9	37299	60	6.64909E-05
CO <sub>2</sub>	12.446	134908.7	2355.2	35	0.000259435

### ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ CNG



รูปที่ ๑.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ CNG

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ CNG ประกอบด้วย N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	1.564	78236.9	8599.4	0	--
2	3.553	1110300	39904.2	0	5.065
3	10.607	19718	668.7	0	10.774

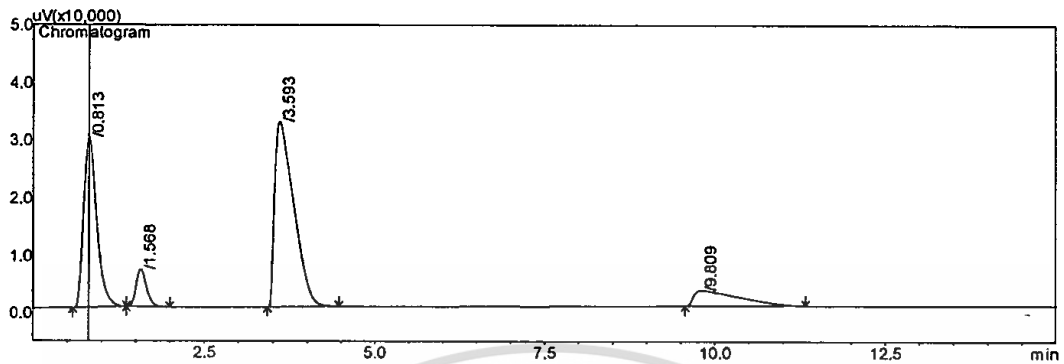
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์อัตราส่วน Biohythane ก่อนการทดลองกำจัดก๊าซ CO<sub>2</sub>

ครั้งที่ 1

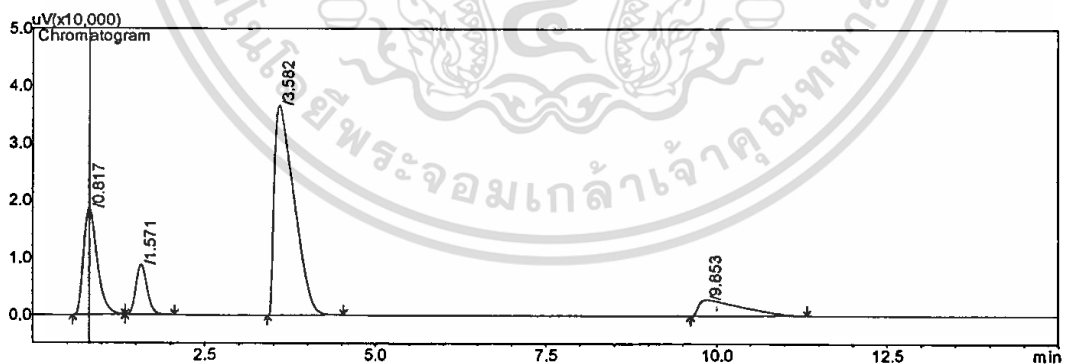


รูปที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์ Biohythane ก่อนการทดลอง ครั้งที่ 1

ผลการวิเคราะห์ Biohythane ก่อนการทดลองประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.813	394310.9	29508.2	0	--
2	1.568	69332.7	6496.4	0	2.434
3	3.593	626483.3	32135.5	0	5.014
4	9.809	126896.5	2713.8	0	6.885

ครั้งที่ 2



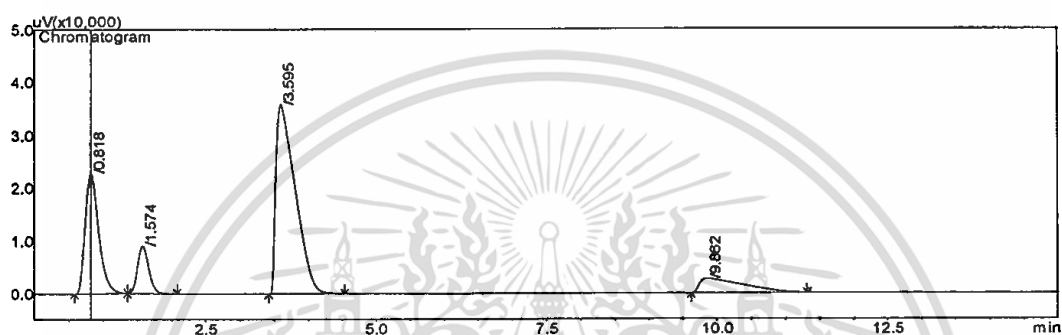
รูปที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์ Biohythane ก่อนการทดลอง ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ Biohythane ก่อนการทดลองประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.817	254462.1	18541.4	0	--
2	1.571	98064.3	8595.6	0	2.314
3	3.582	734682.4	36577.9	0	4.752
4	9.853	123820	2755.6	0	7.082

ครั้งที่ 3

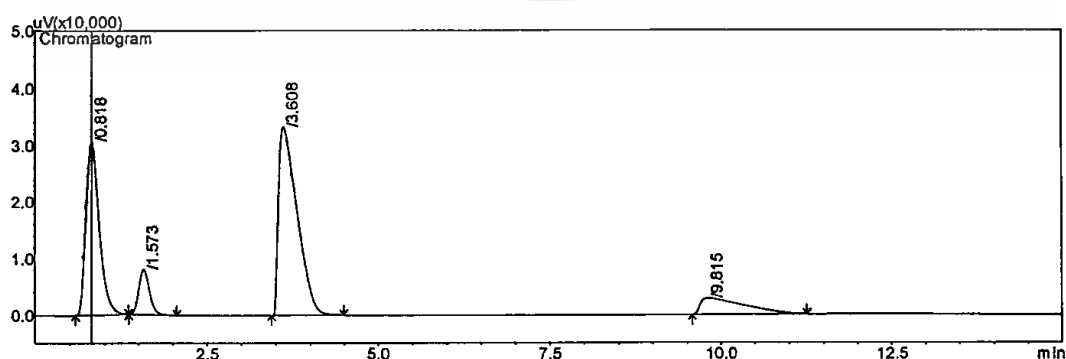


รูปที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ Biohythane ก่อนการทดลอง ครั้งที่ 3

ผลการวิเคราะห์ Biohythane ก่อนการทดลองประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.818	313431.2	22793.1	0	--
2	1.574	103184.3	8983.3	0	2.31
3	3.595	707175.7	35720.8	0	4.813
4	9.862	122781	2752.1	0	7.143

ครั้งที่ 4



รูปที่ ข.4 ผลการวิเคราะห์ Biohythane ก่อนการทดลอง ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ Biohythane ก่อนการทดลองประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.818	410174.1	30663.4	0	--
2	1.573	86586.9	7919.2	0	2.404
3	3.608	629736.6	33274.1	0	5.091
4	9.815	128773.2	2872.7	0	7.142

คำนวณ Area ของก๊าซ CO<sub>2</sub> จาก Peak 4 ของแต่ละครั้งโดยหาค่าเฉลี่ย ได้ดังนี้

$$\frac{126896.5+123820+122781+128773.2}{4} = 125567.675$$

ให้ค่า Area ของก๊าซ CO<sub>2</sub> ที่ได้ 125567.675 เป็น 100%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

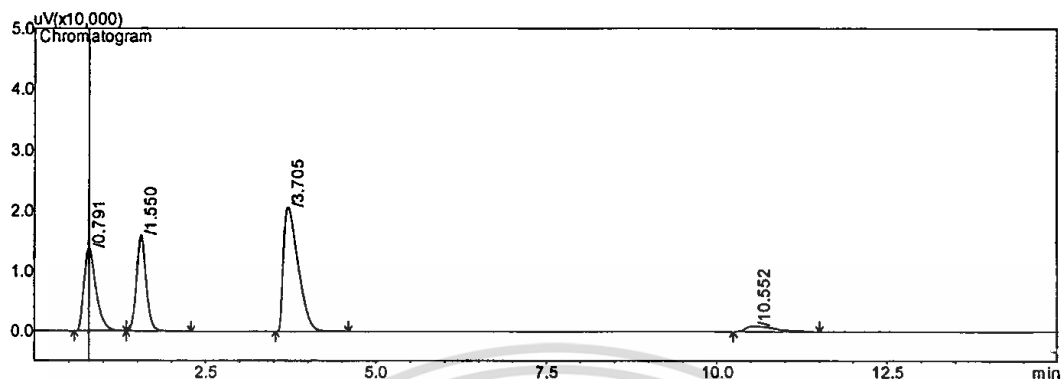


ภาคผนวก ซ  
ข้อมูลผลการทดลองและการหาปริมาณของก๊าซ CO<sub>2</sub> ที่ลดลงใน Biohythane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลวิเคราะห์การทดลองการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane

### การทดลองที่ 1 ครั้งที่ 1

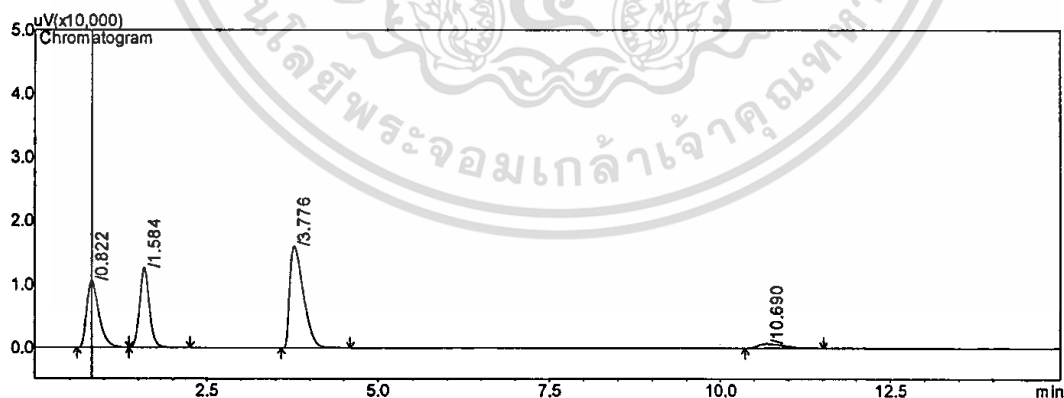


รูปที่ ข.1 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 1 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 1 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.791	169361.5	13901	0	--
2	1.55	158215.2	15995.4	0	2.699
3	3.705	314253.5	20713.2	0	6.562
4	10.552	30455.7	984.8	0	11.067

### การทดลองที่ 1 ครั้งที่ 2



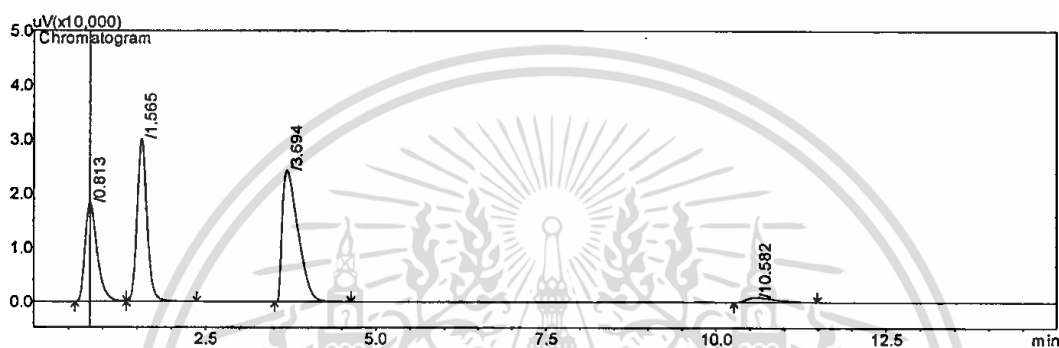
รูปที่ ข.2 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 1 ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 1 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.822	129801.3	10539.3	0	--
2	1.584	124755.5	12535.5	0	2.683
3	3.776	225636.6	16067.4	0	7.001
4	10.69	21070.4	731.8	0	12.05

การทดลองที่ 2 ครั้งที่ 1

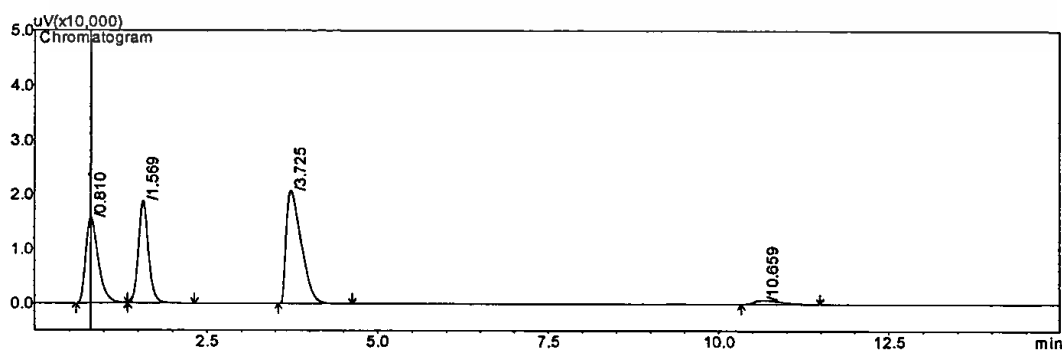


รูปที่ ๓.3 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 2 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 2 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.813	223320.8	18217.9	0	--
2	1.565	301826.3	29951.7	0	2.639
3	3.694	389990	24200.9	0	6.174
4	10.582	27585.2	912.9	0	11.059

การทดลองที่ 2 ครั้งที่ 2



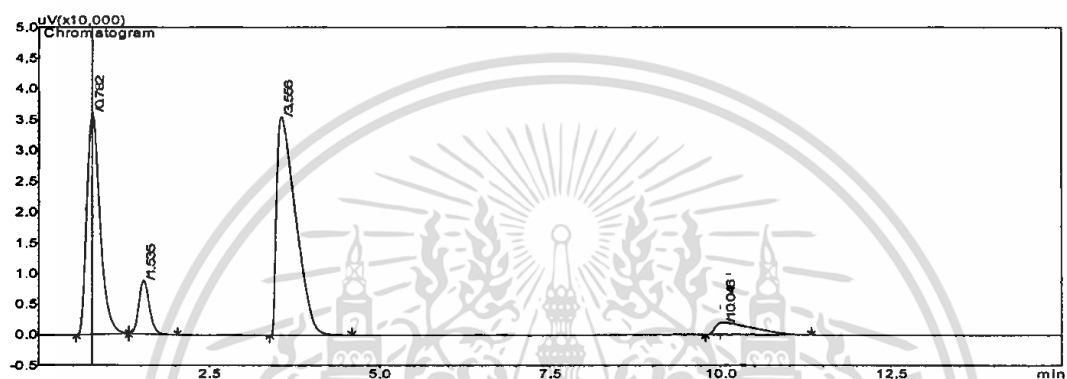
รูปที่ ๓.4 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 2 ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 2 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.81	197784.1	15704	0	--
2	1.569	193369.9	18760.8	0	2.589
3	3.725	317355.2	20679.8	0	6.401
4	10.659	21670.4	748.1	0	11.646

การทดลองที่ 3 ครั้งที่ 1

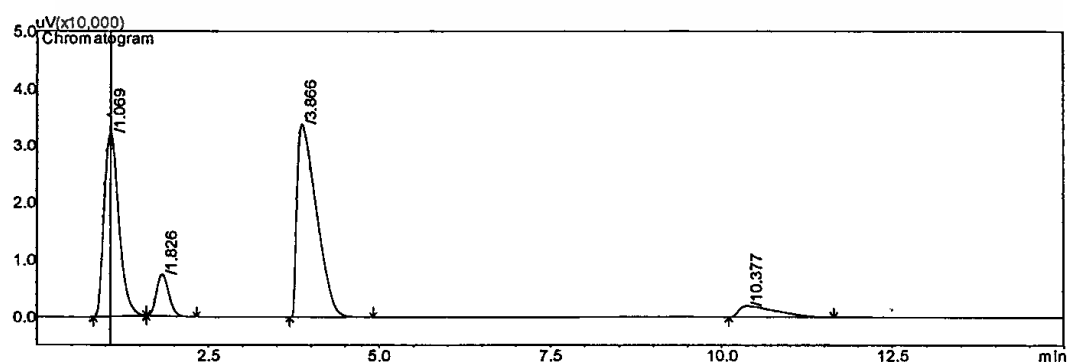


รูปที่ ข.5 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 3 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 3 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.782	488091.3	36147.2	0	--
2	1.535	94162.8	8757.8	0	2.398
3	3.556	693779.1	35536.2	0	4.982
4	10.046	75507.3	1974.9	0	8.275

การทดลองที่ 3 ครั้งที่ 2



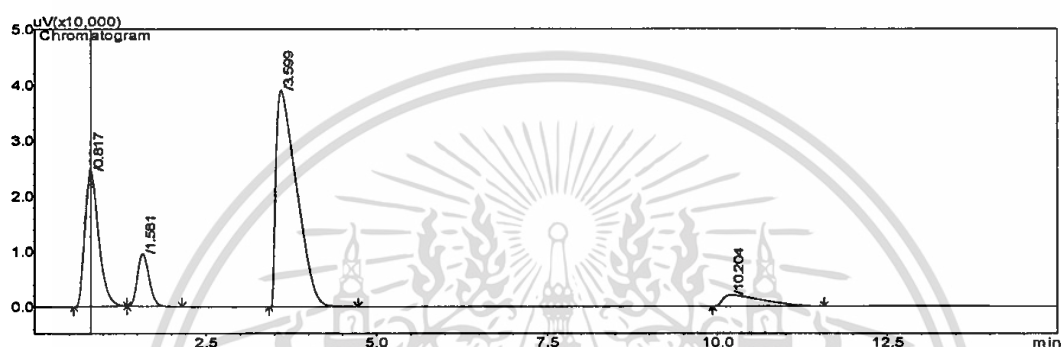
รูปที่ ข.6 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 3 ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 3 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	1.069	480856.4	32294.8	0	--
2	1.826	90331.1	7203.2	0	2.091
3	3.866	671051.7	33904	0	4.676
4	10.377	71986.7	1894.3	0	8.292

การทดลองที่ 4 ครั้งที่ 1

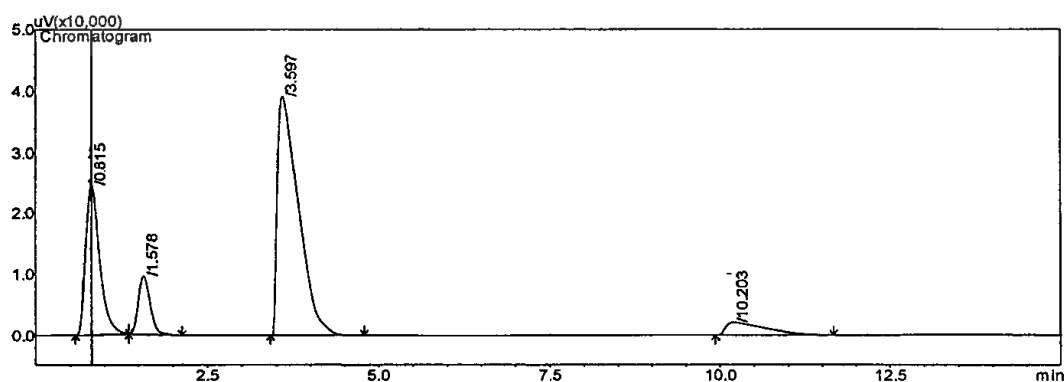


รูปที่ ข.7 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 4 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 4 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.817	348769.9	24494	0	--
2	1.581	113464.9	9540.4	0	2.245
3	3.599	821652.9	39092.7	0	4.556
4	10.204	83227.9	2059.4	0	7.906

การทดลองที่ 4 ครั้งที่ 2



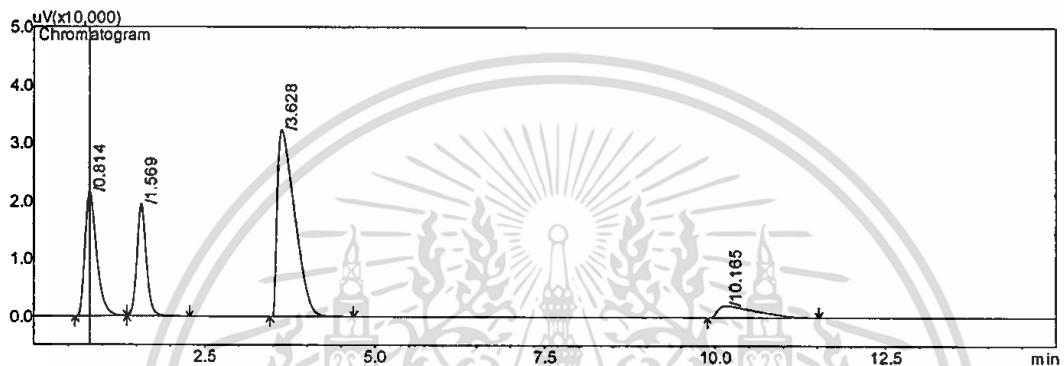
รูปที่ ข.8 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 4 ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 4 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.815	353038	24522.7	0	--
2	1.578	114356.8	9474.4	0	2.235
3	3.597	841427.9	39134.5	0	4.532
4	10.203	85600.9	2068.7	0	7.842

การทดลองที่ 5 ครั้งที่ 1

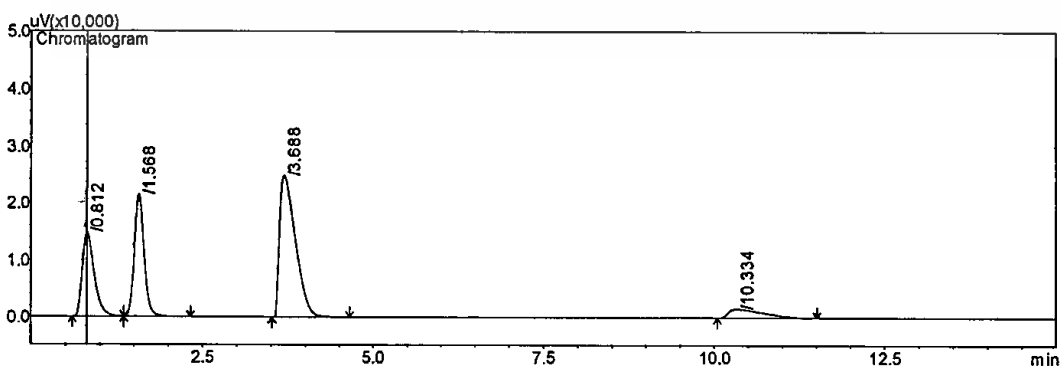


รูปที่ ๙.9 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 5 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 5 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.814	255397.5	21545.3	0	--
2	1.569	185541.9	19365.1	0	2.783
3	3.628	584970.5	32212.6	0	5.605
4	10.165	82661.1	2058.4	0	8.275

การทดลองที่ 5 ครั้งที่ 2

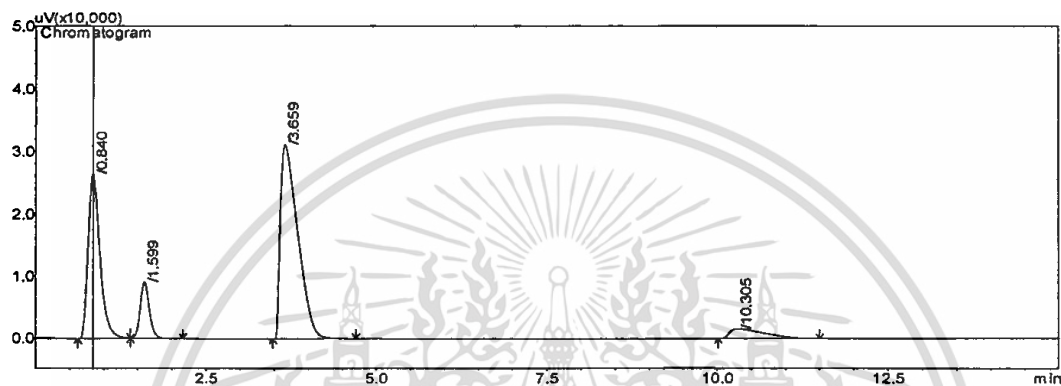


รูปที่ ๙.10 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 5 ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นผลวิเคราะห์การทดลองที่ 5 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ ซึ่งดำเนินการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.812	178870.3	14744.3	0	--
2	1.568	213171.4	21384.1	0	2.689
3	3.688	403033.5	24818.6	0	6.146
4	10.334	56224.7	1567.9	0	9.451

การทดลองที่ 6, การทดลองที่ 11 และการทดลองที่ 17 ครั้งที่ 1

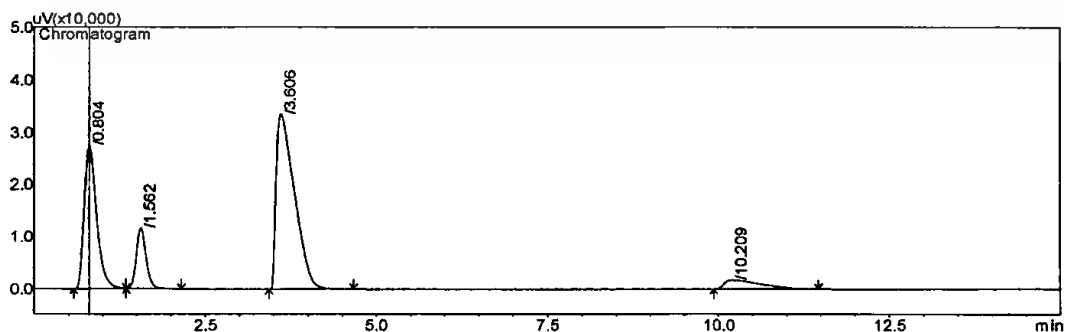


รูปที่ ข.11 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 6, การทดลองที่ 11 และการทดลองที่ 17 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 6,11,17 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.84	319699.7	26418.8	0	--
2	1.599	84429.5	9061.5	0	2.79
3	3.659	558083.8	31206.7	0	5.712
4	10.305	58339.9	1627.1	0	9.14

การทดลองที่ 6, การทดลองที่ 11 และการทดลองที่ 17 ครั้งที่ 2



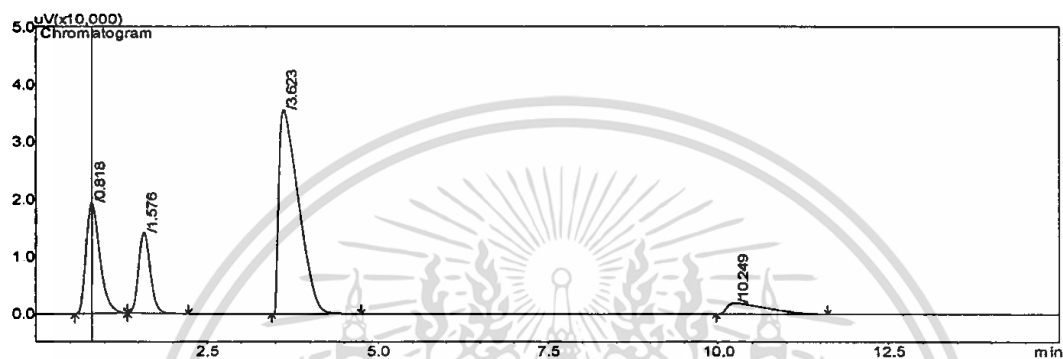
รูปที่ ข.12 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 6, การทดลองที่ 11 และการทดลองที่ 17 ครั้งที่ 2

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 6,11,17 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.804	347053	27625.8	0	--
2	1.562	115640.5	11609.3	0	2.633
3	3.606	629868.2	33606.4	0	5.351
4	10.209	66922.3	1792.7	0	8.686

### การทดลองที่ 7 ครั้งที่ 1

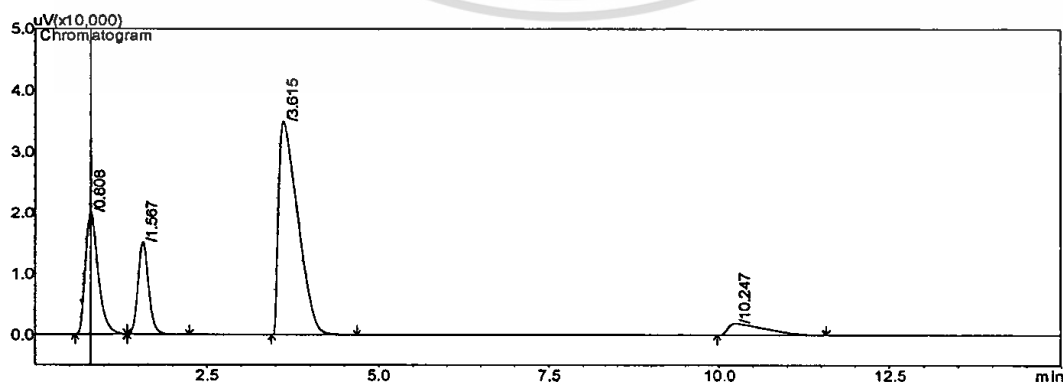


### รูปที่ ๑.13 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 7 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 7 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ , และ  $CO_2$  ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.818	271747.4	19336.8	0	--
2	1.576	167935	14064.2	0	2.25
3	3.623	712012.6	35578.7	0	4.778
4	10.249	77997.8	1953	0	8.148

### การทดลองที่ 7 ครั้งที่ 2



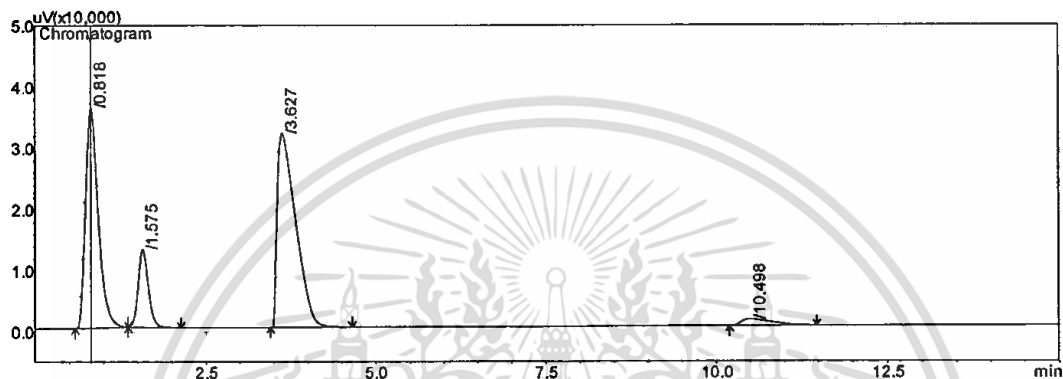
### รูปที่ ๑.14 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 7 ครั้งที่ 2

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 7 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ , และ  $CO_2$  ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.808	260078	20060.9	0	--
2	1.567	162354.9	15061.5	0	2.495
3	3.615	680961.6	34981.5	0	5.077
4	10.247	74541.9	1903.3	0	8.347

### การทดลองที่ 8 ครั้งที่ 1

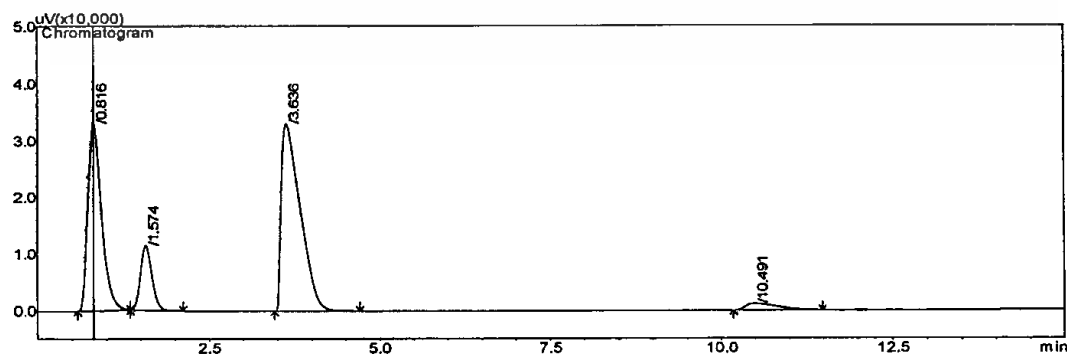


### รูปที่ ข.15 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 8 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 8 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ , และ  $CO_2$  ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.818	465114.2	35952.6	0	--
2	1.575	130024.3	12670.6	0	2.542
3	3.627	599390.1	31628.5	0	5.274
4	10.498	33224.4	1040.9	0	9.995

### การทดลองที่ 8 ครั้งที่ 2



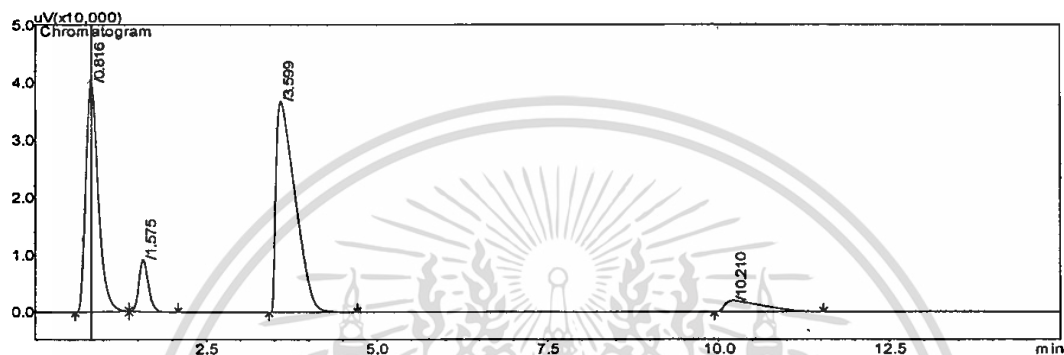
### รูปที่ ข.16 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 8 ครั้งที่ 2

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 8 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ , และ  $CO_2$  ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบแจ้งประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.816	458221.6	33014.7	0	--
2	1.574	130234.9	11280.9	0	2.293
3	3.636	636557.2	33007.7	0	4.997
4	10.491	35476.8	1105.8	0	9.87

### การทดลองที่ 9 ครั้งที่ 1

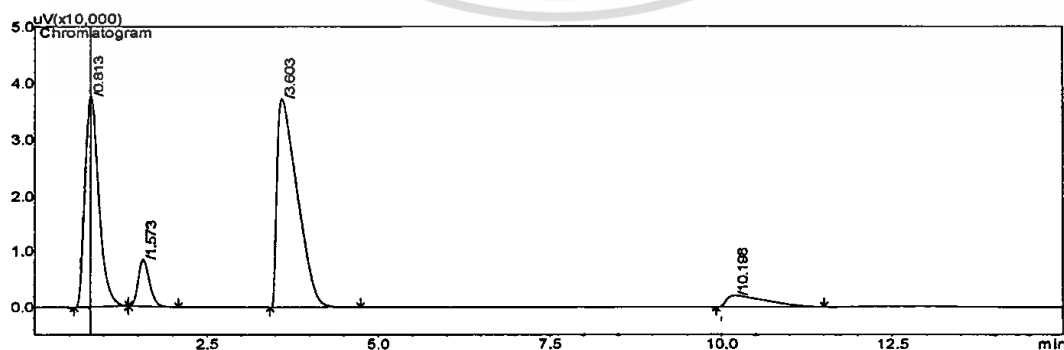


### รูปที่ ข.17 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 9 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 9 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.816	504815.2	39967.5	0	--
2	1.575	88317.7	9137.8	0	2.664
3	3.599	721586.8	36730.4	0	5.173
4	10.21	77875.3	1974.9	0	8.246

### การทดลองที่ 9 ครั้งที่ 2



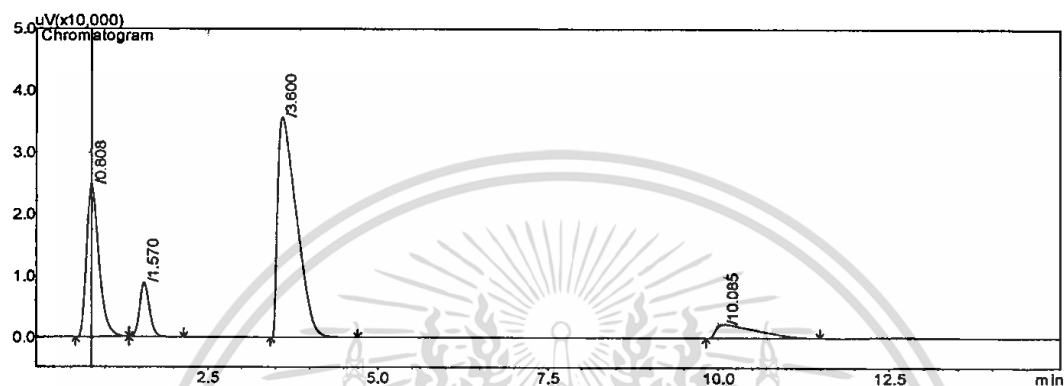
### รูปที่ ข.18 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 9 ครั้งที่ 2

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 9 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.813	527321.5	37687.1	0	--
2	1.573	94677.3	8264.7	0	2.302
3	3.603	770556	37371.1	0	4.711
4	10.198	82390	2051.9	0	7.977

### การทดลองที่ 10 ครั้งที่ 1

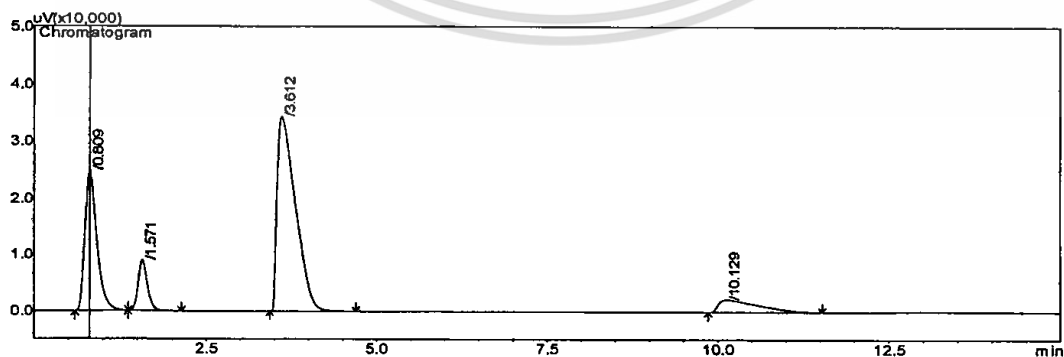


รูปที่ ข.19 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 10 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 10 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ , และ  $CO_2$  ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.808	311864.4	24795.3	0	--
2	1.57	87641	8873	0	2.658
3	3.6	692073.1	35732.3	0	5.205
4	10.085	97226.8	2318	0	7.778

### การทดลองที่ 10 ครั้งที่ 2



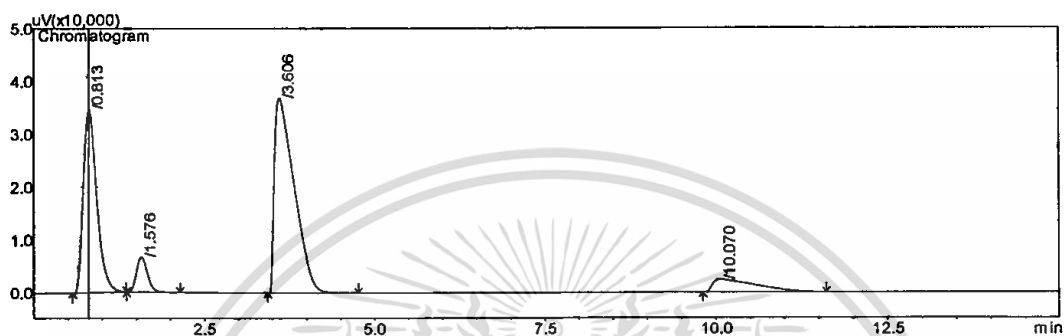
รูปที่ ข.20 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 10 ครั้งที่ 2

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 10 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ , และ  $CO_2$  ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.809	302337.2	24903.1	0	--
2	1.571	82298.1	8851.3	0	2.801
3	3.612	645009.9	34314.2	0	5.462
4	10.129	90246.3	2192.3	0	8.014

### การทดลองที่ 12 ครั้งที่ 1

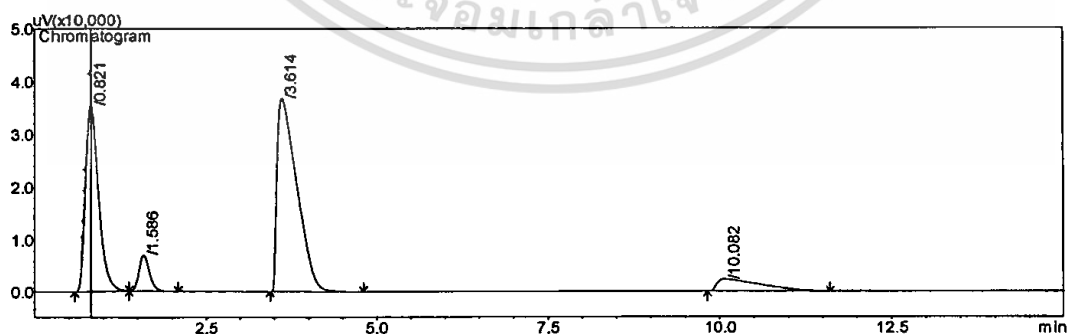


รูปที่ ช.21 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 12 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 12 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ , และ  $CO_2$  ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.813	480425.8	34751.8	0	--
2	1.576	75179.7	6673.6	0	2.343
3	3.606	745968	36846.6	0	4.794
4	10.07	108741.7	2467.2	0	7.4

### การทดลองที่ 12 ครั้งที่ 2



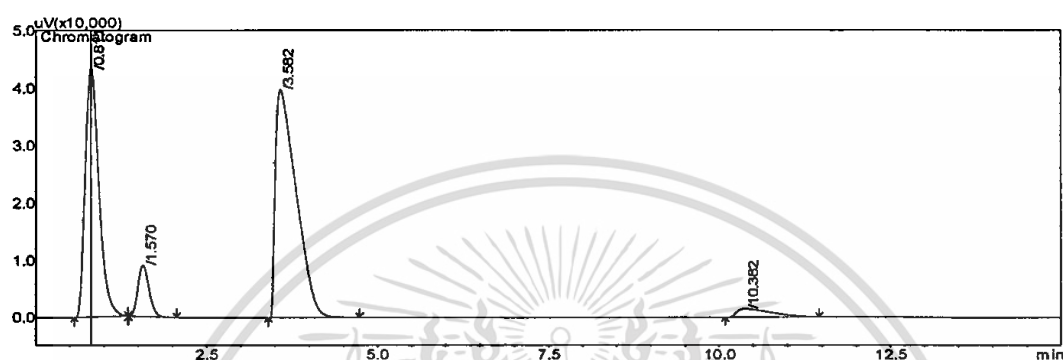
รูปที่ ช.22 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 12 ครั้งที่ 2

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 12 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ , และ  $CO_2$  ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.821	477094.1	35477.6	0	--
2	1.586	74976.2	6988.4	0	2.448
3	3.614	741206.9	36797.3	0	4.896
4	10.082	108289	2460.2	0	7.422

### การทดลองที่ 13 ครั้งที่ 1

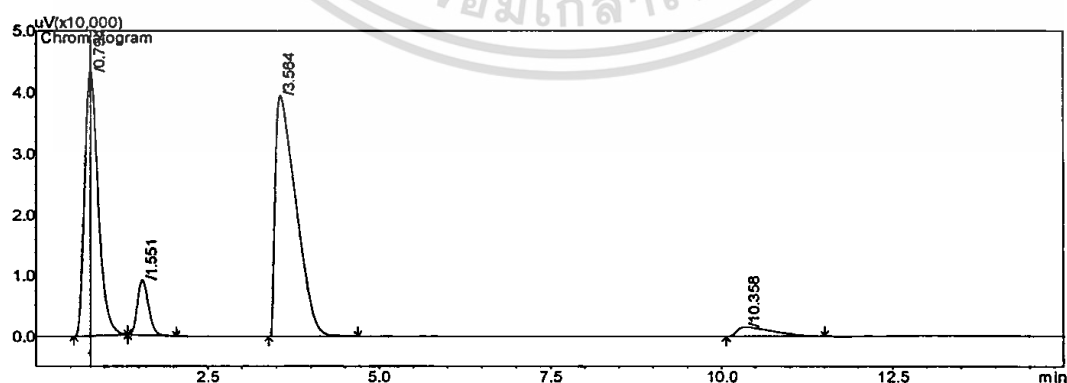


### รูปที่ ข.23 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 13 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 13 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.811	609620.2	43586.6	0	--
2	1.57	101529.4	8971.4	0	2.304
3	3.582	840339.6	39792.9	0	4.606
4	10.382	51443.6	1483.9	0	8.971

### การทดลองที่ 13 ครั้งที่ 2



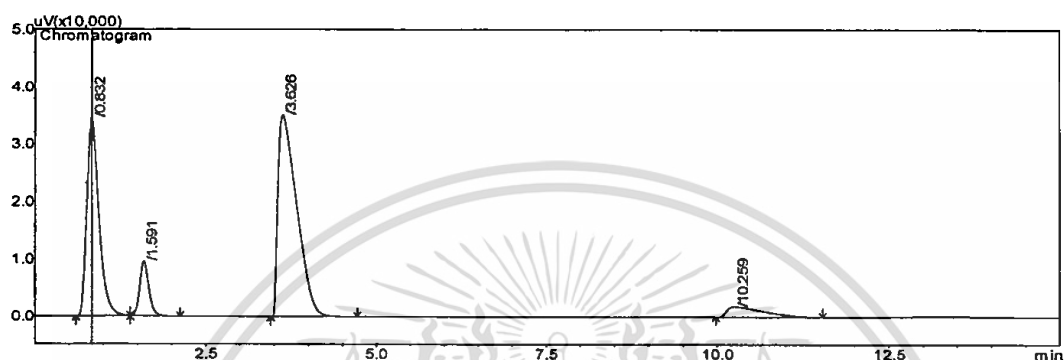
### รูปที่ ข.24 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 13 ครั้งที่ 2

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 13 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.794	600663	43549.2	0	--
2	1.551	100412.2	9042.2	0	2.344
3	3.564	826210.9	39478.6	0	4.669
4	10.358	53016.6	1495.7	0	8.878

การทดลองที่ 14 ครั้งที่ 1

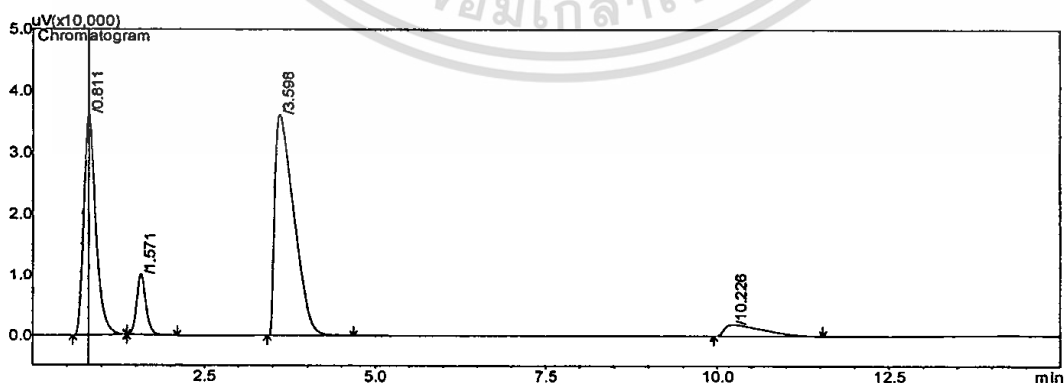


รูปที่ ข.25 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 14 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 14 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.832	430782.1	34670.6	0	--
2	1.591	88688.3	9550.4	0	2.752
3	3.626	670238.3	35174.9	0	5.392
4	10.259	69502.3	1834.1	0	8.59

การทดลองที่ 14 ครั้งที่ 2



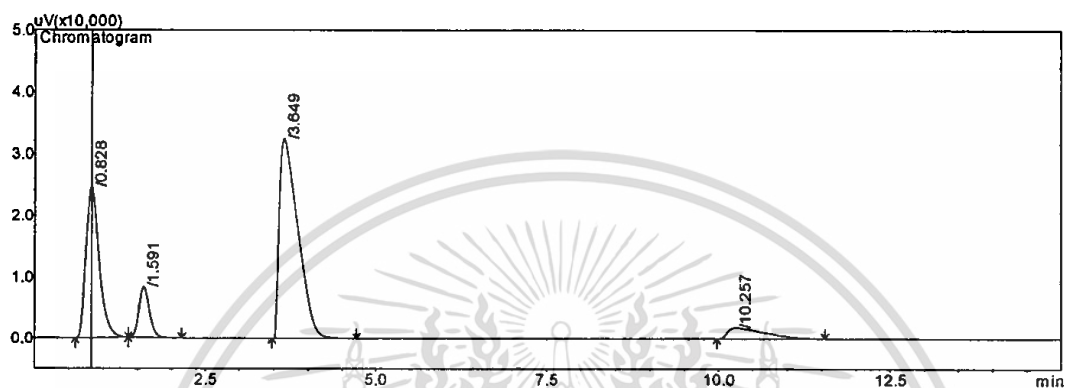
รูปที่ ข.26 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 14 ครั้งที่ 2

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 14 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.811	446123.7	36275.9	0	--
2	1.571	92967.5	9962	0	2.761
3	3.598	697298.3	36105.1	0	5.308
4	10.226	72858.2	1892	0	8.455

การทดลองที่ 15 ครั้งที่ 1

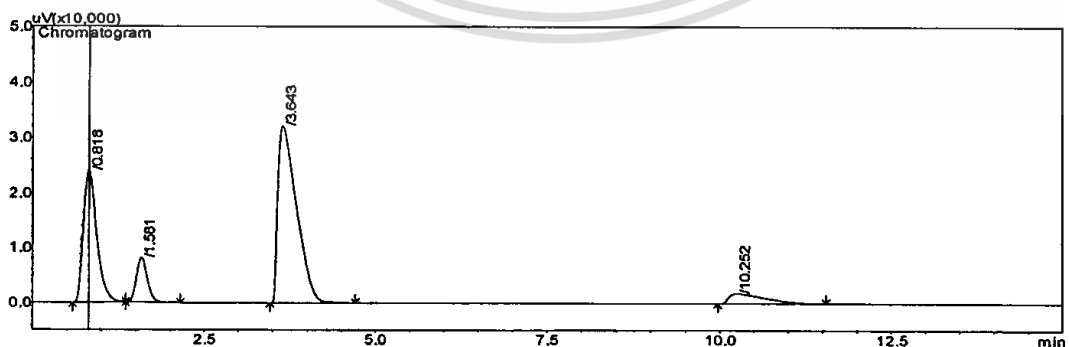


รูปที่ ข.27 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 15 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 15 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.828	328204.8	24629.5	0	--
2	1.591	88963.1	8262.4	0	2.458
3	3.649	613325.2	32380.7	0	5.192
4	10.257	68973.5	1805.9	0	8.54

การทดลองที่ 15 ครั้งที่ 2



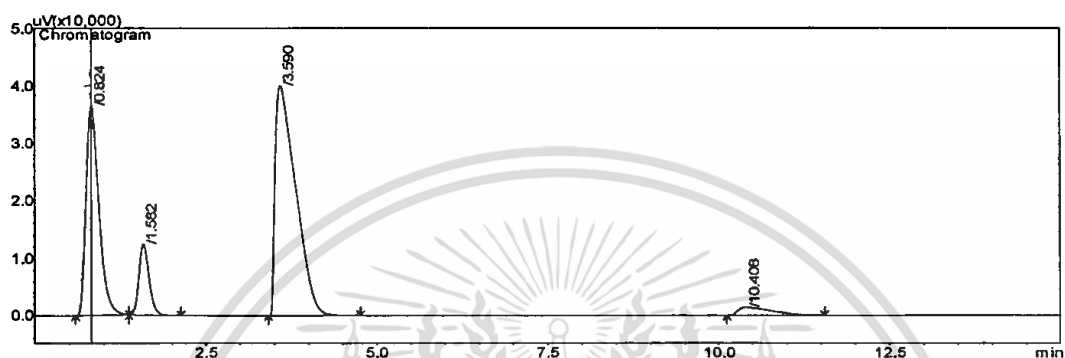
รูปที่ ข.28 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 15 ครั้งที่ 2

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 15 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.818	323639.2	24070.2	0	--
2	1.581	88630.8	8033.6	0	2.414
3	3.643	608677.9	32161.9	0	5.156
4	10.252	68291.4	1801.1	0	8.587

### การทดลองที่ 16 ครั้งที่ 1

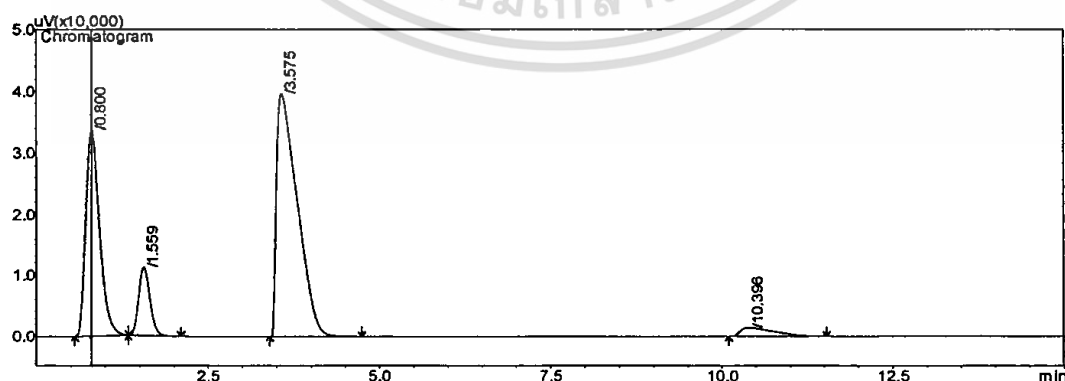


### รูปที่ ข.29 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 16 ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 16 ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.824	476736.9	36565.6	0	--
2	1.582	128145.2	12386.8	0	2.527
3	3.59	835517.2	40046.6	0	4.808
4	10.408	50953.1	1453	0	8.991

### การทดลองที่ 16 ครั้งที่ 2



### รูปที่ ข.30 ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 16 ครั้งที่ 2

ผลวิเคราะห์การทดลองที่ 16 ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.8	471047.1	33718.9	0	--
2	1.559	127634	11112.2	0	2.296
3	3.575	834300.5	39702.5	0	4.61
4	10.396	50809.6	1446.2	0	8.954

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า CR ของการทดลอง

จากการทดลองที่ 1 ค่า Area ของ CO<sub>2</sub> เฉลี่ย

$$= \frac{30455.7 + 21070.4}{2} = 25763.05$$

ค่า CR ของการทดลองที่ 1

$$= 100 - \left( \frac{25763.05}{125567.675} \times 100 \right) = 79.48\%$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการทำ Rresponse surface methodology, RSM

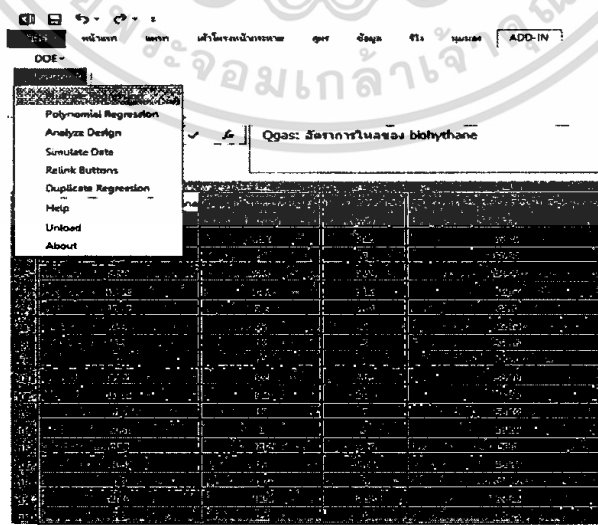
วิธี response surface methodology, RSM เป็นวิธีหนึ่งในการหารูปแบบสมการของความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองกับตัวแปรอิสระ โดยใช้วิธี multiple regression ในการวิเคราะห์หา รูปแบบ Polynomial เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง จากผลการทดลองตารางที่ 4.1 มี ขั้นตอนการทำดังนี้

1. นำข้อมูลทั้งหมด ประกอบตัวแปรอิสระต่างๆ และผลการทดลองไปวางใน Microsoft excel ดังรูปที่ ญ.1

	A	B	C	D
1	Qgas: อัตราการไหลของ bihydrothane	Qgas: อัตราการไหลของน้ำ	T: เวลาการทดลอง	CR: การสเปกตรัมกับ CO <sub>2</sub> ใน bihydrothane
2	(l./min)	(l./min)	(min)	(%)
3	10.18	14.4	9.46	79.48
4	7.5	16	8	60.59
5	4.82	9.6	9.46	41.27
6	10.18	14.4	6.13	32.77
7	10.18	9.6	9.46	44.7
8	7.5	12	8	50.12
9	7.5	12	5	39.26
10	3	12	8	72.64
11	4.82	9.6	6.13	36.18
12	10.18	9.6	6.13	25.35
13	7.5	12	8	50.12
14	7.5	8	8	13.58
15	4.82	14.4	6.13	58.4
16	7.5	12	11	43.31
17	12	12	8	45.54
18	4.82	14.4	9.46	59.48
19	7.5	12	8	50.12

รูปที่ ญ.1 ขั้นตอนการทำ RSM

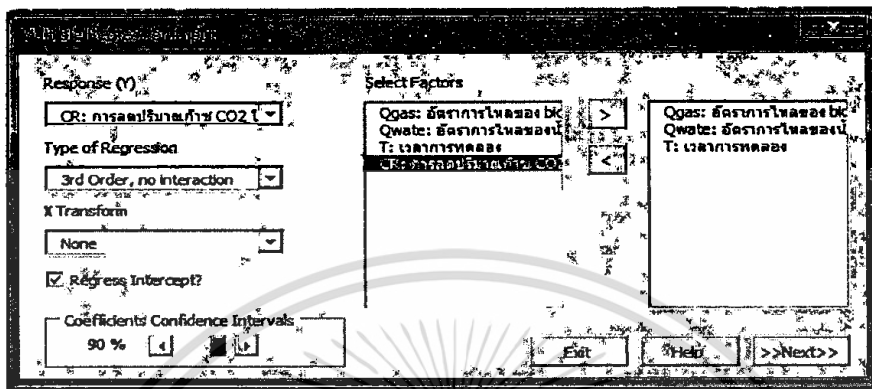
2. หลังจากนำข้อมูลทั้งหมดไปวางแล้ว ให้เลือกข้อมูลทั้งหมด แล้วเลือกคลิก Regress เลือก multiple regression ดังรูปที่ ญ.2



รูปที่ ญ.2 ขั้นตอนการทำ RSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตรงช่อง Response (Y) คือ ผลที่ได้จากการทดลอง เลือก การลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane, ช่อง Type of Regression คือ รูปแบบสมการที่ใช้ทำนายผลการทดลอง เลือก 3<sup>rd</sup> Order, ช่อง Coefficients Confidence Intervals คือ ระดับความเชื่อมั่น เลือก 90% และช่อง Select Factors ให้เลือกตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ดังรูปที่ ญ.3



รูปที่ ญ.3 ขั้นตอนการทำ RSM

4. โปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง Multiple regression ให้เลือก >> เพื่อเลือกรูปแบบของสมการทั้งหมด หลังจากนั้นกดเลือก Regress เพื่อให้แสดงผลการวิเคราะห์ โปรแกรมจะแสดงสมการการทำนายผลของการทดลอง ก่อนที่จะพิจารณาย่อยสำคัญ ดังรูปที่ ญ.4

Source	SS	SS%	MS	F	F Signif	df
Regression	4476.590	87	497.3989	5.334711	0.019062	9
Residual	652.6675	13	93.23821			7
LOF Error	652.6675	13 (100)	130.5335	1.72e30	5.802e-31	5
Pure Error	1.515e-28	0 (0)	7.573e-29			2
Total	5129.258	100				16

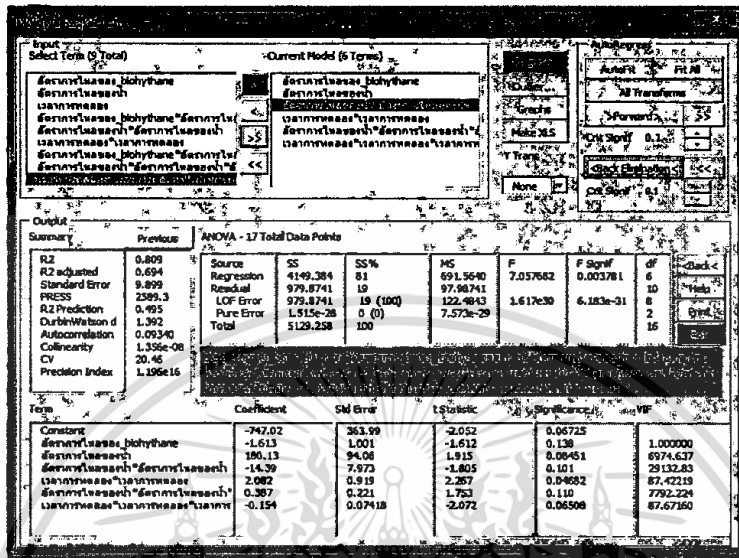
  

Term	Coefficient	Std Error	t-Statistic	Significance	DF
Constant	-360.62	441.25	-0.817	0.441	625.0982
อัตราการไหลของ biogas	-36.23	24.44	-1.483	0.162	6986.762
อัตราการไหลของน้ำ	173.98	91.83	1.916	0.09686	4037.449
เวลาการทดลอง	-108.73	96.58	-1.126	0.297	2861.674
อัตราการไหลของ biogas*อัตราการไหลของน้ำ	4.546	3.431	1.325	0.227	29145.07
อัตราการไหลของน้ำ*อัตราการไหลของน้ำ	-14.22	7.779	-1.827	0.110	16282.94
เวลาการทดลอง*เวลาการทดลอง	15.56	12.23	1.273	0.244	874.6974
อัตราการไหลของ biogas*เวลาการทดลอง	-0.185	0.151	-1.223	0.261	7792.224
อัตราการไหลของน้ำ*เวลาการทดลอง	0.387	0.216	1.797	0.115	

รูปที่ ญ.4 ขั้นตอนการทำ RSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อได้สมการทำนายผลการทดลองแล้ว ให้เลือก <Back Elimination> เพื่อพิจารณานัยสำคัญ โดยให้โปรแกรมเป็นตัวตัดสมการที่ไม่มีนัยสำคัญออก โดยพิจารณาควบคู่กับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เมื่อได้ค่าที่สามารถทำการทดลองได้แล้ว ให้เลือก Make XLS ดังรูปที่ ญ.5



รูปที่ ญ.5 ขั้นตอนการทำ RSM

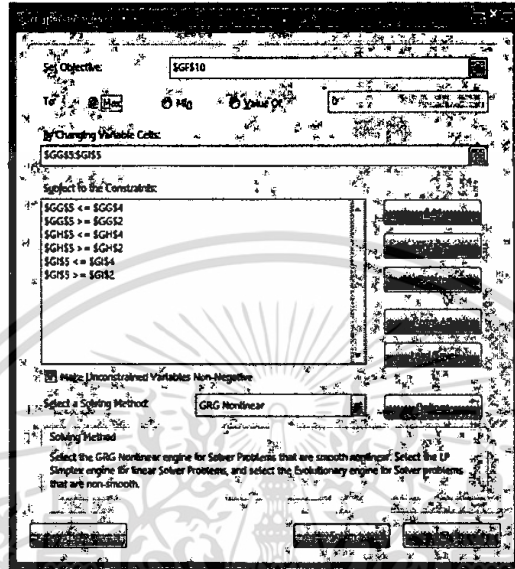
6. หลังจากที่ได้เลือก Make XLS โปรแกรมจะแสดงผลการวิเคราะห์ต่าง ของสมการที่พิจารณานัยสำคัญแล้ว ดังรูปที่ ญ.6

2	Reregress	CO <sub>2</sub> ที่คง % = b0 + b1*สัณฐานโพลีเอทิลีน + b2*เวลาทดลอง + b3*สัณฐานโพลีเอทิลีน*เวลาทดลอง + b4*เวลาทดลอง*เวลาทดลอง + b5*สัณฐานโพลีเอทิลีน*เวลาทดลอง*เวลาทดลอง + b6*เวลาทดลอง*เวลาทดลอง*เวลาทดลอง					
3	Delete						
4	Predict Table						
5	Graph						
6	Data						
7	Regression	IRI	0.899				
8	Optimize	R <sup>2</sup>	0.809				
9	Confidence	R <sup>2</sup> adjusted	0.694				
10	Outlier	Standard Error	9.899				
11	Print	# Points	17				
12	R Matrix	PRESS	2589.29				
13	Surfaces	R <sup>2</sup> for Prediction	0.495				
14	Near	Durbin-Watson d	1.392				
15		First Order Autocorrelation	0.093				
16		Collinearity	0.000				
17		Coefficient of Variation	20.459				
18		Precision Index	11963527854047900.000				
19							
20							
21							
22							
23	Back						

รูปที่ ญ.6 ขั้นตอนการทำ RSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การหาค่า Optimum หรือสถานะที่เหมาะสมนั้น ให้เลือก Optimum จากรูปที่ ฅ.6 โดยโปรแกรมจะแสดงหน้า Solver Parameters หลังจากนั้นพิจารณาผลการทดลองแล้วเลือก ค่า Max หรือ Min แล้วทำการกด Solve ดังรูปที่ ฅ.7 หลังจากนั้นโปรแกรมก็จะแสดงค่า Optimum ของการทดลองขึ้นมา



รูปที่ ฅ.7 ขั้นตอนการทำ RSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

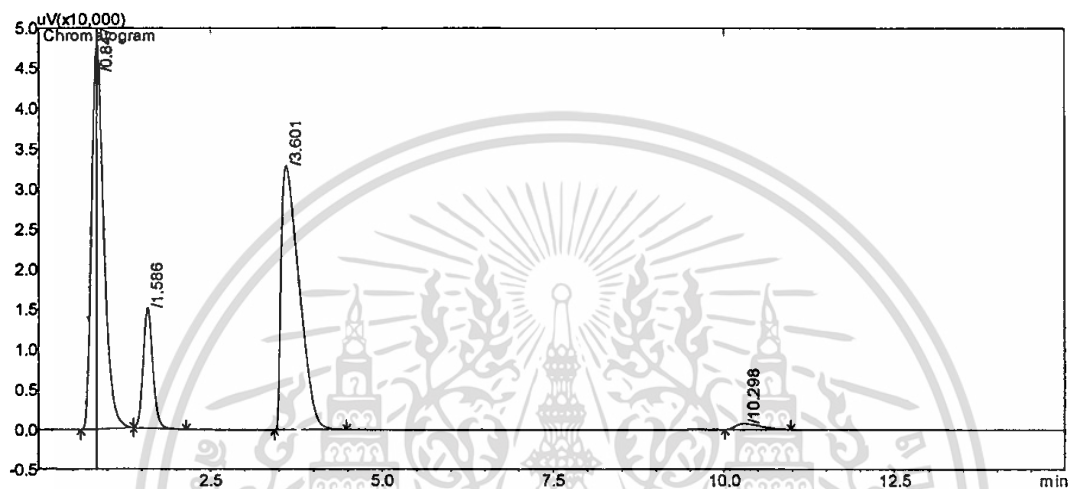


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลวิเคราะห์การทดลองจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane

จากผลการทดลองและนำไปวิเคราะห์โดย RSM ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ใน Biohythane คือ คือ เวลาการทดลอง 9 min, อัตราการไหลของน้ำ 16 U/min และอัตราการไหลของ Biohythane 3 U/min ซึ่งทำให้ได้ปริมาณของก๊าซ CO<sub>2</sub> ที่ลดลง 90.1%

ครั้งที่ 1

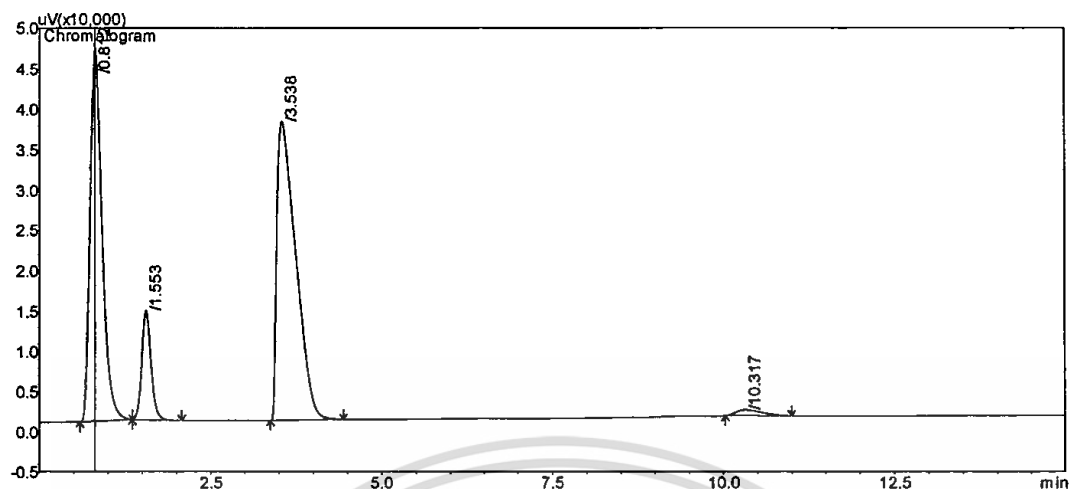


รูปที่ 1 ผลวิเคราะห์การทดลองสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ครั้งที่ 1

ผลวิเคราะห์การทดลองสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ครั้งที่ 1 ประกอบด้วย H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, และ CO<sub>2</sub> ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.847	594868.8	47960.3	0	--
2	1.586	145108	14970.7	0	2.615
3	3.601	598301.8	32956.7	0	5.438
4	10.298	20498.8	766.6	0	10.967

ครั้งที่ 2



รูปที่ 2 ผลวิเคราะห์การทดลองสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ครั้งที่ 2

ผลวิเคราะห์การทดลองสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ครั้งที่ 2 ประกอบด้วย  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ , และ  $CO_2$  ตามลำดับ

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Resolution
1	0.812	562123.2	46166.9	0	--
2	1.553	127582.6	13539.5	0	2.692
3	3.538	713588.7	37014	0	5.188
4	10.317	19372.4	715	0	10.718

$$\text{ค่าเฉลี่ย Area ของก๊าซ } CO_2 = \frac{20498.8 + 19372.4}{2} = 19935.6$$

$$\text{CR: การลดปริมาณก๊าซ } CO_2 \text{ ใน Biohythane} = 100 - \frac{19935.6}{125567.675 \times 100} = 84.12\%$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความคลาดเคลื่อน (\%)} &= \left[ \frac{\text{ค่าที่ได้จากการทำนาย} - \text{ค่าที่ได้จากการทดลอง}}{\text{ค่าที่ได้จากการทำนาย}} \right] \times 100 \\ &= \left[ \frac{90.1 - 84.12}{90.1} \right] \times 100 \\ &= 6.63\% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลงานวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัย ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2558 ผลดำเนินงานที่สำเร็จลุล่วง ณ วันที่ 30 กันยายน 2558 ประกอบไปด้วย

1. ชุดการทดลองต้นแบบการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไบโอไฮเทนจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยวิธี water scrubbing
2. รายงานกรวิจัยเรื่องการทดลองกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไบโอไฮเทนจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยวิธี water scrubbing

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

บทความวิจัยอยู่ระหว่างดำเนินการตีพิมพ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 2 รอบ 12 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2558

หน่วยงาน วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

 แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ)

 แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การทดลองกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไบโอไฮเทนจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยวิธี water scrubbing

(ภาษาอังกฤษ) Experimental study for bioglythane upgrading from palm oil mill effluent by water scrubbing

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย (อ.) ศรีรัตน์ ช่วยบุญ

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2558 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2558

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี - เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2558

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 338,940 บาท 67.8 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 08/12/57

งวดที่ 2 161,060 บาท 32.2 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 29/14/58

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้ นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร : ค่าจ้างชั่วคราว	-	-	-
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน	-	-	-
ค่าใช้สอย	71,000	71,000	-
ค่าวัสดุ	170,000	170,000	-
ค่าสาธารณูปโภค	-	-	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	259,000	258,940	60
<b>รวม</b>	<b>500,000</b>	<b>499,940</b>	<b>60</b>

( นายศรีรัตน์ ช่วยบุญ )

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

/ /

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ (อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์อื่น) ค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

/ /

## ประวัติคณะผู้วิจัย

## 1. ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

## 1.1 ชื่อ-สกุล

ชื่อ (ภาษาไทย) นายศรีรัตน์ ช่วยบุญ

(ภาษาอังกฤษ) Mr.Srirat Chuayboon

## 1.2 เลขหมายประจำตัวประชาชน 1909999012078

## 1.3 ตำแหน่ง อาจารย์

## 1.4 หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร หมู่ 6 ตำบลชุมโค  
อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160 โทรศัพท์ และโทรสาร 0-77 59-1450, 081-7661339

E-mail: sriratpsu@gmail.com, srirat\_jack@hotmail.com

## 1.5 ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชาเอก	วิชาเอก	สถาบันการศึกษา	ประเทศ
2556	โท	วศ.ม.	วิศวกรรมเครื่องกล	ICE	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	ไทย
2553	ตรี	วศ.บ.เกียรติ นิยมอันดับ 1	วิศวกรรมเครื่องกล	-	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย

## 1.6 สาขาวิชาที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

มีความชำนาญทางด้านเครื่องยนต์สันดาปภายใน การวิเคราะห์การใช้พลังงานจาก Biomass และมีความรู้เกี่ยวกับระบบผลิต biogas ในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม

## 1.7 ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งภายใน และภายนอกประเทศ

## 1.7.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

## 1. ประชุมวิชาการในระดับชาติ (โปรดระบุ...ชื่อเรื่อง วัน เวลาและสถานที่)

ศรีรัตน์ ช่วยบุญ สุธีระ ประเสริฐสรรพ กิตตินันท์ มลิวรรณ ฐานันดรศักดิ์ เทพญา และพูนสุข ประเสริฐสรรพ การวิเคราะห์ราคาเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานร่วม การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย

## 9. ประชุมวิชาการในระดับนานาชาติ (โปรดระบุ...ชื่อเรื่อง วัน เวลาและสถานที่)

## Journal Papers:

S. Chuayboon, S. Prasertsan, T. Theppaya, K. Maliwan and P. Prasertsan, 2013. Effects of CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> Mixtures on SI Gas Engine. *International Journal of Energy Procedia*, Volume 52, 2014, Pages 659–665

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S. Chuayboon, S. Prasertsan, T. Theppaya, K. Maliwan and P. Prasertsan, 2013. Effects of CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> Mixtures on SI Gas Engine. International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies, Bangkok, Thailand, 30-31 May 2013.

S. Chuayboon, S. Prasertsan, K. Maliwan and P. Prasertsan, 2013. Endurance Test of a modified spark ignition internal combustion engine fuelled by hythane. 13Th International Conference on Clean Energy (ICCE 2014), Istanbul, Turkey, June 8-12,2014

## 2. ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) รศ.ดร.สุธีระ ประเสริฐสรรพ

2. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Assoc.Prof.Dr.Suteera Prasertsan

3. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน -

3. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่  
สงขลา 90112 E-Mail:suteerapsu@gmail.com Tel:0-7428-7417 Fax: 0-7455-8830

## 5. ประวัติการศึกษา

2526 - 2530 Ph.D. วิศวกรรมเครื่องกล University of Queensland

2522 - 2524 M.Eng.St. วิศวกรรมเครื่องกล University of Queensland

2515 - 2519 วศ.บ. (เกียรตินิยม) วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ  
Alternative Energy

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

## ประวัติรับราชการ

2519 อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม. สงขลานครินทร์

2526 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

2532 - 2534 หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่อง

2536 รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

2536 -2542 รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์

2539 -2544 กรรมการสภาวิชาการ ม. สงขลานครินทร์

2544-2549 ผู้อำนวยการฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

2549-2552 รองผู้อำนวยการและผู้อำนวยการฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ประวัติการทำงานนอกมหาวิทยาลัย

- 2535 – 2537 กรรมการในคณะกรรมการการแปรรูปชีวมวลเพื่อพลังงานโดยกระบวนการความร้อนของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- 2537 – 2540น กรรมการในคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมศาสตร์ ในโครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างไทย – ญี่ปุ่น ของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- 2540 – 2544 ผู้ประสานงาน สกว. ในชุดโครงการวิจัยอุตสาหกรรมไม้ยางพารา
- 2541 – 2544 กรรมการบริหารบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
- 2550-2552 กรรมการสภาวิชาการ ม. ศรีนครินทรวิโรฒ
- 2551- ประธานคณะกรรมการด้านทรัพย์สินทางปัญญา TRIDI

### เกียรติยศ

- 2540 อาจารย์ตัวอย่างด้านการวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- 2540 รับรางวัลทุนวิจัยจาก มูลนิธิโทเร เพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ประเทศไทย
- 2540 ได้รับรางวัลที่ 3 ผลงานประดิษฐ์คิดค้น เครื่องมือหนีบหนังศีรษะระหว่างผ่าตัดจากสภาวิจัยแห่งชาติ (รับรางวัลร่วม)
- 2541 ได้รับรางวัลชมเชยผลงานประดิษฐ์คิดค้น เต้าเผาอิฐประหยัดพลังงาน จากสภาวิจัยแห่งชาติ (รับรางวัลร่วม)

### ประสบการณ์การวิจัย

- 2522 -2524 Special Study in Vibration Measurement, Master Thesis, UQ.
- 2526 -2530 Energy Dissipation in Materials under Biaxial Loading, Ph.D. Thesis, UQ.
- 2531 – 2532 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดแรงหนีบของที่หนีบหนังศีรษะ  
ทุนวิจัย ม. สงขลานครินทร์ ประเภทนักวิจัยใหม่ (หัวหน้าโครงการ)
- 2533 Mechanical Damage of Agricultural Produces  
ทุนวิจัย – ทุนงาน NRCT – JSPS
- 2533 -2534 Feasibility Study on the Use of Non – Wood Wastes from Rubber  
Plantation  
for Energy Production  
ทุน STDB project initiation fund (หัวหน้าโครงการ)
- 2533 -2536 Energy Conservation in Rubber Smoking Industry  
ทุน AAACP (หัวหน้าโครงการ)
- 2535 -2536 Preliminary Study in Brick Making Technology in ASEAN Countries  
ทุนสภาวิจัย โครงการความร่วมมือกับต่างประเทศ (หัวหน้าโครงการ)
- 2535 – 2536 ความเสียหายเชิงกลของมังกุดเมื่อได้รับแรงกระแทก  
ทุนสำนักงานประมาณ (หัวหน้าโครงการ)
- 2537 การศึกษาและวิเคราะห์สถานภาพและศักยภาพการใช้ประโยชน์จากของเสียจากอุตสาหกรรม  
น้ำมันปาล์ม  
ทุนวิจัยจากศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ผู้ร่วม  
โครงการ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2537 -2539 Development of Heat Pump Dryer for Agricultural Produces.  
 ทุนวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (หัวหน้าโครงการ)
- 2537 – 2539 Development of Energy – Efficient Brick Kiln.  
 ทุนวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (ผู้ร่วมโครงการ)
- 2540 -2541 Improvement and Endurance Test of Energy –Efficient Brick Kiln  
 ทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (ผู้ร่วมโครงการ)
- 2540 การพัฒนาระบบอบแห้งผลปาล์ม  
 ทุนวิจัยจากกระทรวงอุตสาหกรรม (หัวหน้าโครงการ)
- 2540 -2541 Heat Pump Assisted Distillation Process  
 ทุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และมูลนิธิ  
 โทเร เพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ ประเทศไทย (หัวหน้าโครงการ)
- 2542 -2543 การพัฒนาห้องรมยางพารา ทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการนโยบาย  
 พลังงานแห่งชาติ (ผู้ร่วมโครงการ)
- 2543 การศึกษากลไกการอบแห้งไม้ยางพาราและการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์  
 ทุนวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (หัวหน้าโครงการ)
- 2544 -2545 การใช้น้ำมันปาล์มในเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร ทุนวิจัยจากมูลนิธิชัยพัฒนา(ผู้ร่วม  
 โครงการ)
- 2545 การศึกษาคักยภาพเชิงพื้นที่ของชีวมวลไม้ยางพาราในภาคใต้เพื่อการผลิตพลังงาน  
 ทุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ(หัวหน้าโครงการ)

## ผลงานทางวิชาการ

### 1. ผลงานตีพิมพ์

#### 1.1 ประเภทตำรา / และหนังสือ

สุธีระ ประเสริฐสรรพ. เสียงและการควบคุมเสียงแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์, 2526, 204 หน้า

สุธีระ ประเสริฐสรรพ. กลศาสตร์แตกหัก. คณะวิศวกรรมศาสตร์. ม.สงขลานครินทร์, 2535 , 273 หน้า  
 Prasertsan, P., Prasertsan, S. and H-Pongkitikul, A. Recycling of Organic Wastes Using Clean Technology in Agro – Industry. In Encyclopedia of Life Support Systems. Eolss Publishers, Oxford 2002

สุธีระ ประเสริฐสรรพ. สนุกกับงานวิจัย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย , 2544

สุธีระ ประเสริฐสรรพ สรรพสิ่งล้วนวิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย 2545

สุธีระ ประเสริฐสรรพ ทำวิจัยให้สนุก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย 2548

สุธีระ ประเสริฐสรรพ ลอกเลียน เรียนรู้: จากปฏิวัติ Xerox สู่ปฏิบัตินวัตกรรมไทย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย 2548

สุธีระ ประเสริฐสรรพ วิจัย: ยังมีอะไรที่ไม่รู้ (ว่าไม่รู้) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย 2549

สุธีระ ประเสริฐสรรพ รู้จักวิจัย ทำให้เป็น สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย 2549

สุธีระ ประเสริฐสรรพ สาวา...พม่ารามัญเป็นฉันนี่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุธีระ ประเสริฐสรรพ พุดเรื่องวิจัยให้ได้เรื่อง สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย 2551  
 สุธีระ ประเสริฐสรรพ ท่องไปในเส้นทางราชมรรคา เทียวตามหาอัสรานางฟ้าขอม สำนักงานกองทุน  
 สนับสนุนการวิจัย 2551

สุธีระ ประเสริฐสรรพ วิจัยใน...ความคิด ชุดวิจัย...พลังเปลี่ยนการเรียนรู้ เล่มที่ 1 สำนักงานกองทุน  
 สนับสนุนการวิจัย 2552

สุธีระ ประเสริฐสรรพ หลักคิด...การวิจัย ชุดวิจัย...พลังเปลี่ยนการเรียนรู้ เล่มที่ 2 สำนักงานกองทุน  
 สนับสนุนการวิจัย 2552

สุธีระ ประเสริฐสรรพ วิจัย...เรื่องใกล้ตัว ชุดวิจัย...พลังเปลี่ยนการเรียนรู้ เล่มที่ 3 สำนักงานกองทุน  
 สนับสนุนการวิจัย 2552

สุธีระ ประเสริฐสรรพ เรียนรู้...คู่มือวิจัย ชุดวิจัย...พลังเปลี่ยนการเรียนรู้ เล่มที่ 4 สำนักงานกองทุน  
 สนับสนุนการวิจัย 2552

สุธีระ ประเสริฐสรรพ วิจัยใน...จินตนาการ ชุดวิจัย...พลังเปลี่ยนการเรียนรู้ เล่มที่ 5 สำนักงานกองทุน  
 สนับสนุนการวิจัย 2552

สุธีระ ประเสริฐสรรพ ถอดรหัสการเขียนโครงการวิจัยประเภททุนแข่งขัน: เพื่อเพิ่มคุณค่าของการวิจัย  
 ไทย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย 2552

สุธีระ ประเสริฐสรรพ วิจัย...งานที่สร้างความสุขร่วมกัน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายวิจัย  
 เพื่อท้องถิ่น 2552

## 1.2 ประเภทบทความวิจัยในวารสารวิชาการ

### 1.2.1 วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางแผ่นรมควัน

1 บทความใน R&D J. Eng. Inst. Thailand ในปี 1994

3 บทความใน RERIC Int. Energy J. ในระหว่างปี 1991 - 1993

### 1.2.1 วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

1 บทความใน ASEAN Food J. ในปี 1994

1 บทความใน Int. J. Food Properties ในปี 1998

### 1.2.2 ชีวมวล (สถานภาพ)

1 บทความใน R&D J. Eng. Inst Thailand ในปี 1993

1 บทความใน Biomass & Bio-energy ในปี 1996

### 1.2.3 วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมอิฐ

1 บทความใน R&D J. Eng Inst. Thailand ในปี 1995

3 บทความใน RERIC Int. Energy J. ในระหว่างปี 1995 - 1996

1 บทความใน Int. J. Energy Research ในปี 1997

### 1.2.4 วิจัยและพัฒนากระบวนการอบแห้งด้วยป้อนความร้อน

3 บทความใน Int. J. Energy Research ในระหว่างปี 1996 -1997

3 บทความใน Drying Technology ในระหว่างปี 1998 - 2002

1 บทความใน R&D J. Eng Inst. Thailand ในปี 1999

### 1.2.5 วิจัยและพัฒนาการอบไม้ยางพารา

2 บทความใน Drying Technology ในปี 2002-2004 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.2.6 วิจัยและพัฒนาพลังงานจากชีวมวลไม้ยางพารา

1 บทความใน J. Power and Energy ในปี 2001

2 บทความใน Biomass & Bio-energy ในระหว่างปี 2002 – 2003

### 1.2.7 วิจัยนโยบายพลังงาน

1 บทความใน Renewable Energy .ในปี 2005

### 1.2.8 วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด

2 บทความใน Clean Tech. and Environ. Policy และ ว. สงขลา นครินทร์ในปี 2004

### 1.2.9 วิจัยด้านอุปกรณ์การแพทย์

1 บทความใน British Journal of Neurosurgery ในปี 2008

### 1.3 ประเภทบทความในที่ประชุมวิชาการนานาชาติ

ประมาณ 15 บทความจากการประชุมใน อังกฤษ โปแลนด์ ออสเตรเลีย อินโดนีเซีย เวียดนาม สิงคโปร์ ญี่ปุ่น เซอร์เบีย และไทย ในหัวข้อต่างๆ ที่ทำวิจัยข้างต้น

### การถูกอ้างอิง

บทความวิจัย 25 ชิ้นอยู่ในฐานข้อมูล [www.scopus.com](http://www.scopus.com) ถูกอ้างอิงทั้งสิ้น 170 ครั้ง (ณ วันที่ 13 มกราคม 2553)



### 3. ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ศ.ดร.พูนสุข ประเสริฐสรณ์

2. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Prof.Dr. Poonsuk Prasertsan

3. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน -

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ศาสตราจารย์

ผู้อำนวยการสถานวิจัยผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีน้ำมันปาล์ม (POPTec)

### 4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
หาดใหญ่ สงขลา 90112 โทรศัพท์ 0-7428-6369 โทรสาร 0-7444-6727

E-mail: poonsuk918@yahoo.com

### 5. ประวัติการศึกษา

1988 Ph.D. (Biotechnology) University of Queensland, Australia

1981 M.Sc.St. (Biotechnology) University of Queensland, Australia

1977 B.Sc. (Food Science) Kasetsart University, Thailand

HonourEMPLOYMENT :2004- Present : Associate Professor

1993- 2004 : Associate Professor, Head of Department

Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University (PSU)

1989-1992 : Assistant Professor, Dept. of Agro-Industry,

Faculty of Natural Resources, PSU

1987-1989 : Lecturer, Dept. of Agro-Industry, Faculty of Natural Resources.

1983-1987 : Received AIDAB Scholarship for Ph.D. study in Australia

1981-1983 : Lecturer in Dept. of Agro-Industry, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

1979-1981 : Study for Master Degree in Australia

1977-1979 : Working as Head's assistant in the Quality Control Section in a fruit and vegetable canning factory

### 6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

Environmental Biotechnology, Waste Utilization / Treatment, Fermentation Technology, Enzyme Technology

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

PUBLICATIONS :

- Prasertsan P., O-Thong S., Birkeland N. 2009. Optimization and microbial community analysis for production of biohydrogen from palm oil mill effluent by thermophilic fermentative process. *Int J Hydrogen Energy*. 34: 7448-7459.
- Suwansa-ard, M., Prasertsan, P., Choorit, W. and Zeiltra, J. 2009. Isolation of anoxygenic photosynthetic bacteria from Songkhla Lake for use in a two-staged biohydrogen production process from palm oil mill effluent. *Int J Hydrogen Energy*. 34: 7523-7529.
- O-Thong S., Prasertsan P., Intrasungkha N., Dahle H. and Birkeland N.K. Microbial community analysis of thermophilic mixed culture sludge for biohydrogen production. *J. Appl Microbiol.* (Accepted)
- O-Thong S., Prasertsan P., Birkeland N. 2009. Evaluation of methods for preparing hydrogen-producing seed inocula under thermophilic condition by process performance and microbial community analysis. *Bioresour Technol* 100: 909-918.
- Ratanaphan, A., Wasiksiri, S., Canyuk, B., and Prasertsan, P. 2009. Cisplatin-damaged *BRCA1* exhibits altered thermostability and transcriptional transactivation. *Cancer Biology & Therapy*. 8: 10, 1-9.
- Saikeur, A., Choorit, W., Prasertsan, P., Kantachote, D. and Sasaki, K. 2009. Influence of precursors and inhibitor on the production of extracellular 5-aminolevulinic acid and biomass by *Rhodopseudomonas palustris* KG31. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 73: 987-992.
- Prasertsan P., O-Thong S., Birkeland N. 2008. Thermophilic biohydrogen production from palm oil mill effluent under batch and fed-batch cultivation with microbial community analysis. *J. Biotechnol.* 136S: S22-S71.
- Prasertsan, P. and Prachumratana, T. 2008. Comparison and selection of protease and lipase sources from visceral organs of three tuna species. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 30 (Suppl.), 73-76.
- Prasertsan, P. and Prachumratana, T. 2008. Properties of protease and lipase from whole and individual organ of viscera from three tuna species. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 30 (Suppl.), 77-86.

- Kemavongse, K., Prasertsan, P., Upaichit, A. and Methacanon, P. 2008. Poly- $\beta$ -hydroxyalkanoate production by halotolerant *Rhodobacter sphaeroides* U7. World J. Microbiol. Biotechnol. 24(10) : 2073-2085.
- O-Thong, S., Prasertsan, P., Karakashev, D. and Angelidaki, I. 2008. High-rate continuous hydrogen production by *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* PSU-2 immobilized on heat-pretreated methanogenic granules. Int J Hydrogen Energy 33: 6498-6508.
- O-Thong S., Prasertsan P., Karakashev D., Angelidaki I. 2008. Specific detection of *Thermoanaerobacterium* spp., *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum*, and *Caldicellulosiruptor* spp. in biohydrogen producing systems by fluorescent *in situ* hybridization . Int J Hydrogen Energy 33: 6082-6091.
- O-Thong, S., Prasertsan, P., Intrasungkha, N., Dhamwichukorn, S. and Nils-Kåre Birkeland. 2008. Optimization of simultaneous thermophilic fermentative hydrogen production and COD reduction from palm oil mill effluent by *Thermoanaerobacterium*-rich sludge. Int J Hydrogen Energy. 33: 1221-1231.
- O-Thong, S., Prasertsan, P., Karakashev, D. and Angelidaki, I. 2008. Thermophilic fermentative hydrogen production by the newly isolated *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* PSU-2. Int J Hydrogen Energy. 33 : 1204-1214.
- Suyala, S., Prasertsan, P. and Hongpattarakere, T. 2008. Effect of culture medium on polymer production and temperature on recovery of polymer produced from newly identified *Rhizopus oryzae* ST29. Songklanakarin J. Sci. Technol. 30 (Suppl.), 121-124.
- Aksornchu, P., Prasertsan, P. and Sobhon, V. 2008. Isolation of arsenic-tolerant bacteria from arsenic-contaminated soil. Songklanakarin J. Sci. Technol. 30 (Suppl.), 95-102.
- Sornkong, K., Prasertsan, P. and Sobhon, V. 2008. Screening and identification of p,p'-DDT degrading soil isolates. Songklanakarin J. Sci. Technol. 30 (Suppl.), 103-110.
- O-Thong, S., Prasertsan, P., Intrasungkha, N., Dhamwichukorn, S. and Nils-Kåre Birkeland. 2007. Improvement of biohydrogen production and pollution reduction from palm oil mill effluent with nutrient supplementation at thermophilic condition using an anaerobic sequencing batch reactor. Enzyme Microb Technol. 41: 583-590.

- Dhamwichukorn, S., O-Thong, S., Prasertsan, P., Wright, P.C. and Van Niel, Ed. W. J. 2007. Sludge population optimization for controlled and improved dark hydrogen fermentation. Trends in Biotechnol. (accepted).
- Prasertsan, P., Wichienchot, S., Doelle, H. W. and Kennedy, J. F. 2007. Optimization for biopolymer production by *Enterobacter cloacae* WD7. Carb. Polymers. 71(3): 468-475.
- Sangkharak, K. and Prasertsan, P. 2007. Optimization for poly-( $\beta$ -hydroxybutyrate) production of wild type and two mutant strains of *Rhodobacter sphaeroides* using conventional and statistical methods. J. Biotechnol. 132 : 331-340.
- Paungfoo, C., Prasertsan, P., Burrell, P.C., Intrasungkha, N. and Blackall, L. 2007. Nitrifying bacterial communities in an aquaculture wastewater treatment system using fluorescence in situ hybridization (FISH), 16S rRNA gene cloning and phylogenetic analysis. Biotech. Bioeng. 97(4) : 985-990.
- Tangprasittipap, A., Prasertsan, P., Choorit, W., and Sasaki, K. 2007. Biosynthesis of intracellular 5-aminolevulinic acid by a newly identified thermotolerant *Rhodobacter sphaeroides*. Biotech. Lett. 29: 773-778.
- Kemavongse, K., Prasertsan, P., Upaichit, A. and Methacanon, P. 2007. Effect of co-substrate on production of poly-beta-hydroxybutyrate (PHB) and copolymer PHBV from newly identified mutant *Rhodobacter sphaeroides* U7 cultivated under aerobic-dark condition. Songklanakarin J. Sci. Technol. 29(4) : 1101-1113.
- Laohaprapanon, T., Prasertsan, P., and H-Kittikun, A. 2007. Screening of thermotolerant microorganisms and application for oil separation from palm oil mill wastewater. Songklanakarin J. Sci. Technol. 29(3) : 801-808.
- Chaisri, R., Boonsawang, P., Prasertsan, P. and Chairapat, S. 2007. Effect of organic loading rate on methane and volatile fatty acids productions from anaerobic treatment of palm oil mill effluent in UASB and UFAF reactors. Songklanakarin J. Sci. Technol. 29 (Suppl.2:Grad.Res.): 311-324.
- Prasertsan, P., Dermlim, W., Doelle, H.W. and Kennedy, J.F. 2006. Screening, characterization and flocculating property of carbohydrate polymer from newly isolated *Enterobacter cloacae* WD7. Carb. Polymers., 66 : 289-297.
- Bandaiphet, C. and Prasertsan, P. 2006. Effect of aeration and agitation rate and scale-up on oxygen transfer coefficient, K<sub>La</sub> in exopolysaccharide production from *Enterobacter cloacae* WD7. Carb. Polymers. 66(2) : 216-228.
- Soderhall, I., Tangprasittipap, A., Liu, H.P., Sritunyalucksana, K., Prasertsan, P., Jiravanichpaisal, P., and Soderhall, K. 2006. Characterization of a hemocyte intracellular fatty acid binding protein from crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) and shrimp (*Penaeus monodon*). FEBS J. 2902-2912.

- Chaikritsadakarn, A., Prasertsan, P. and Boonsawang, P. 2006. Production and application of 5-aminolevulinic acid from *Rhodobacter capsulatus* SS3 cultivating in monosodium glutamate effluent. In Modern Multidisciplinary Applied Microbiology: Exploiting Microbes and Their Interaction. Wiley-VCH.
- Wichienchot, S., Prasertsan, P., Hongpattarakere, T., Gibson, G.R. and Rastall, R.A. 2006. In vitro fermentation of mixed linkage glucooligosaccharides produced by *Gluconobacter oxydans* NCIMB 4939 by the human colonic microflora. Current Issues in Intestinal Microbiology. 7(1) : 7-12.
- Wichienchot, S., Prasertsan, P., Hongpattarakere, T., Gibson, G.R. and Rastall, R.A. 2006. In vitro three-stage continuous fermentation of mixed linkage glucooligosaccharides produced by *Gluconobacter oxydans* NCIMB 4939 by the human colonic microflora. Current Issues in Intestinal Microbiology. 7(1) : 13-18.
- Tansakul, P., Savaddiraksa, Y., Prasertsan, P. and Tongurai, C. 2005. Cultivation of the hydrocarbon-rich alga, *Botryococcus braunii* in secondary treated effluent from a seafood processing plant. Thai J. Agric. Sci. 39(1-2): 71-76.
- Kaewthong, W., Sirisansaneeyakul, S., Prasertsan, P. and H-Kittikun, A. 2005. Continuous production of monoacylglycerols by glycerolysis of palm olein with immobilized lipase. Process Biochem. 40: 1525-1530.
- Uttamangkabovorn, M., Prasertsan, P., and H-Kittikun, A. 2005. Water reservation in canned tuna (pet food) plant in Thailand. J. Cleaner Production. 13: 547-555.
- O-Thong, S., Prasertsan, P. and Intrasungkha, N. 2005. Evaluation of the impact of *Bacillus* and *Lactobacillales* augmentation for shrimp farming wastewater improvement by fluorescence *in situ* hybridization. 1<sup>st</sup> IWA-ASPIRE Conference & Exhibition, Singapore. 10-15 July, 2005.
- Viriyapongsutee, B., Chaisarn, D., Kiriratnikom, S., Intrasungkha, N., Prasertsan, P. and Supamattaya, K. 2005. The application of fluorescence *in situ* hybridization (FISH) technique for studying the microbial communities in intestinal tissues of white shrimp (*Penaeus vannamei*). Songklanakarin J. Sci. Technol. 27(Suppl. 1) : 275-282.
- Prasertsan, P., H-Kittikun, A. and Muneesri, P. 2004. Bioseparation of suspended solid and oil from palm oil mill effluent and secondary treatment by photosynthetic bacteria. Proceeding of the European Symposium on Environmental Biotechnology. ESEB 2004 (Verstracte, W., ed.) 25-28 April, 2004. Oosteude, Belgium. p.771-774.
- O-Thong, S., Songsang, S., Jaubongo, S., Prasertsan, P. and Intrasungkha, N. 2004. A field survey of microbial products used in marine shrimp cultivation and preliminary evaluation of their wastewater treatment efficiency. Thaksin Univ. J. 7(1): 1-12.

- Paungfoo, C., Prasertsan, P., Intrasungka, N., Blackall, L. and Bhamidimarri, R. 2003. Enrichment of nitrifying microbial communities from shrimp farms and commercial inocula. *Wat Sci. Tech.* 48(8) : 143-150.
- Kaewchai, S. and Prasertsan, P. 2002. Biosorption of heavy metal by flocculant-producing bacterial cell and bioflocculant. *Songklanakarin J Sci. Technol.*, 24(3) : 413-420.
- Kaewchai, S. and Prasertsan, P. 2002. Screening and application of thermotolerant microorganisms and their flocculant for treatment of palm oil mill effluent. *Songklanakarin J Sci Technol.*, 24(3) : 421-430
- Madmarn, W. and Prasertsan, P. 2002. Products from conversion of seafood processing wastes using biotechnology and the applications. *Songklanakarin J Sci Technol.* 24(2) : 341-356.
- Tungprasittipap, A. and Prasertsan, P. 2002. 5- Aminolevulinic acid and its application. *Songklanakarin J Sci Technol.* 24(4) : 717-725.
- Ukita, M. and Prasertsan, P. 2002. Present state of food and feed cycle and accompanying issues around Japan. *Water Sci. Technol.* 45(12) : 13-21.
- Pechsuth, M., Prasertsan, P. and Ukita, M. 2001. Biopretreatment of palm oil mill effluent by thermotolerant polymer-producing fungi. *Songklanakarin J Sci Technol.* 23(Suppl.) : 771-777.
- Pechsuth, M., Prasertsan, P. and Ukita, M. 2001. High-rate anaerobic treatment of palm oil mill effluent. *Songklanakarin J Sci Technol.*, 23(Suppl.) 779-787.
- Prasertsan, P. and Oi, S. 2001. Enzymatic saccharification of hemicellulose extracted from palm oil mill wastes. *Songklanakarin J Sci Technol.*, 23(Suppl.): 789-795.
- Prasertsan, P., H-Kittikun, A. and Chantapaso, S. 2001. Factors affecting treatment of palm oil mill effluent by enzyme from *Aspergillus niger* ATCC 6275 cultivated on palm cake. *Songklanakarin J Sci Technol.*, 23(Suppl.) : 797-806.
- Prasertsan, P., H-Kittikun, A. and Chantapaso, S. 2001. Comparison on decolorization of palm oil mill effluent by biological, chemical and physical methods. *Songklanakarin J Sci Technol.*, 23(Suppl.) : 807-819.
- H-Kittikun, A., Prasertsan, P. and Sungpud, C. 2000. Continuous production of fatty acids from palm olein by immobilized lipase in a two-phase system. *JAOCS.* 77(5): 1-5.
- Dermlim, W., Prasertsan, P., and Doelle, H.W. 1999. Screening and characterization of bioflocculant produced by *Klebsiella* sp. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 52(5) : 698-703.
- Doelle, H. W., Doelle, M. B. and Prasertsan P. 1998. Biotechnological process strategies for a sustainable development using environmentally clean technologies.

- Prasertsan, P., Jaturapornpipat, M. and Siripatana, C. 1997. Utilization of tuna condensate by photo-synthetic bacteria. *Pure & Appl. Chem.* 69(11): 2439-2445.
- Prasertsan, P., H-Kittikul, A., Kunghae, A., Maneesri, J. and Oi, S. 1997. Optimization for xylanase and cellulase production from *Aspergillus niger* ATCC 6275 in palm oil mill wastes and its application. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 13(5): 555-559.
- Dermlim, W. and Prasertsan, P. 1997. Biofloculant from microorganism. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 19 (3) : 395-404.
- Polmang, R. and Prasertsan, P. 1997. Absorption of heavy metal by bacteria. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 19 (3): 395-404.
- Prasertsan, S. and Prasertsan, P. 1996. Biomass residues from palm oil mills in Thailand : An overview on quantity and potential usage. *Biomass and Bioenergy.* 11(5): 387-395.
- Ratanapradit, K., Prasertsan, P., Tunskul, P. and Angsupanit, S. 1996. Cultivation of *Chlorella* sp. T9 in effluent from seafood processing plant. *Biotechnology and Its Global Impact Conference.* 7-11 October, 1996. Braunschweig, Germany.
- Prasertsan, P., Jung, S. and Buckle, K. A. 1994. Anaerobic filter treatment of fishery wastewater. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 10(1): 11-13.
- Oi, S., Matsuzaki, K., Tanaha, T., Iizuka, M., Taniguchi, M. and Prasertsan, P. 1994. Effect of steam explosion treatment on enzymatic hydrolysis of palm cake and fiber as solid wastes and natural resources. *J. Ferment. Bioengin.* 77(3): 326-328.
- Prasertsan, P., Choorit, W. and Suwanno, S. 1993. Isolation, identification and growth conditions of photosynthetic bacteria found in seafood processing wastewater. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 9(5): 590-592.
- Prasertsan, P., Choorit, W., and Suwanno, S. 1993. Optimization for growth of *Rhodocyclus gelatinous* in seafood processing effluents. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 9(5): 593-596.
- Prasertsan, P., H-Kittikul, A., and Chitmanee, B. 1992. Isolation and selection of cellulolytic fungi from palm oil mill effluent. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 8(6): 614-617.
- Prasertsan, P. and Oi, S. 1992. Production of cellulolytic enzymes from fungi and use in the saccharification of palm cake and palm fibre. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 8(5): 536-538.
- Choorit, W. and Prasertsan, P. 1992. Characterization of proteases produced by newly isolated and identified proteolytic microorganisms from fermented fish (Budu). *World J. Microbiol. Biotechnol.* 8(3): 284-286.

- Prasertsan, P., Jitbunjerdkul, S. and Hunpongkittikul, A. 1990. Process, waste utilization and wastewater characteristics of palm oil mill. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 12 (2): 169-176.
- Jung, S., Prasertsan, P. and Buckle, K. A. 1990. Fish cannery wastewater characteristics. *ASEAN Food J.* 5(2) : 82-83.
- Prasertsan, P. and Choorit, W. 1988. Problem and solution of the occurrence of red colour in wastewater of seafood processing plant. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 10(4) 439-446.
- Prasertsan, P. Wuttijumnong, P., Sophanodora, P. and Choorit, W. 1988. Seafood processing industries within Songkhla-Hat Yai region: the survey of basic data emphasis on wastes. *Songklanakarin J. Sci. Technol* 10(4) : 447-452.
- Prasertsan, P. and Doelle, H.W. 1987. Nutrient optimization for cellulase biosynthesis by a newly isolated *Cellulomonas* sp. *MIRCEN. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 3:33-44.
- Prasertsan, P. and Doelle, H. W. 1986. Separation and characterization of endoglucanases from *Cellulomonas* sp. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 24: 326-333.
- Prasertsan, P. and Sooksawat, P. 1982. Growth of *Candida ingens* in volatile fatty acids. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 4(2): 138-143.
- Prasertsan, P., Ohmiya, K. and Shimuzu, S. 1982. Treatment of agricultural wastes by anaerobes. Annual Report of ICME, Faculty of Engineering, Osaka University, Osaka, Japan. 5: 320-322.

#### BOOKS :

- Chaikritsadakarn, A, Boonsawang, P. and Prasertsan, P. 2006. Production and Application of 5-Aminolevulinic Acid from *Rhodobacter capsulatus* SS3 Cultivating in Monosodium Glutamate Effluent. In *Modern Multidisciplinary Applied Microbiology*. (Mendez-Vilas, A. ed.). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Federal Republic of Germany. P. 602-608.
- Prasertsan, P. and Prasertsan, S. 2004. Palm Oil Industrial Wastes as Bio-Resource for Valuable Products. *Concise Encyclopedia of Bio-Resource Technology* (Pandey, A., ed.). The Haworth Press, Inc. Binghamton, NY p. 460-465.
- Prasertsan, P. and Prasertsan, S. 2004. Seafood Industrial Wastes as Bio-Resource for Valuable Products. *Concise Encyclopedia of Bio-Resource Technology*. The Haworth Press, Inc. Binghamton, NY. P.466-474.

- Prasertsan, P., Prasertsan, S. and H-Kittikun, A. 2002. Recycling of Organic Wastes Using Clean Technologies in Agro-industries. Encyclopedia of Life Support Systems. Eloss Publishers : Oxford.
- Doelle, H. W. and Prasertsan, P. 2002. Environmental Biotechnology-Socio-Economic Strategies for Sustainability. Encyclopedia of Life Support Systems. Eloss Publishers : Oxford.
- Doelle, H. W, Hanpongkittikun, A. and Prasertsan, P. 2000. Clean Technologies Through Microbial Processes for Economic Benefits and Sustainability. *in* Environmental Biotechnology an Cleaner Bioprocess. (Olguin, E.J., Sanchez, G., and Hernandez, E. eds.). Taylor and Francis Ltd.
- Doelle. H.W., Olguin, E.J. and Prasertsan, P. 1987. Fermentation Technology and its Impact on Culture and Society. *in* Microbial Technology in the Developing World. (Dasilva, E.J., Dommergues, Y.R., Nyns, E.J. and Ratledge, C., eds.) Oxford University Press, Oxford p. 209-225
- Prasertsan, P. 1999. Waste Utilization. Department of Industrial Biotechnology, Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University, Hatyai, Thailand. 328 pp.
- Prasertsan, P. 1993. Industrial Fermentation. Department of Agro-Industry, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hatyai, Thailand. 224 pp.

#### TRAINING

Received GBF scholarship to attend the training course on 'Introduction to Industrial Biotechnology' at GBF (German Research Center for Biotechnology) at Braunschweig, Germany for 45 days during 1 September – 15 October, 1990.

#### AWARDS / HONOURABLE JOB

Invited Speaker to give presentation entitled 'Biohydrogen as an Alternative Energy' in The ASEAN-Korea Symposium and Workshop on Biorefinery Technology for Sustainable Production of Biofuel and Industrial Biochemicals : Converging Biorefinery to Response to Climate Change. 18-20 February, 2010. Jarkata, Indonesia.

Invited as Keynote Speaker to give presentation entitled "Thermophilic Biohydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent by Mixed Culture Community Using Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR)" in The International Workshop on Biohydrogen Technology during 6-9 April, 2008 at Kharagpur, India

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Received Ajinomoto Lecture Award from The Thai Society for Biotechnology on the research work entitled 'Production of Hydrogen from Palm Oil Mill Effluent by Thermophilic Fermentative Process' in The 2008 Annual Meeting for Thai Society for Biotechnology, October, 2007. Mahasarakarm, Thailand.

Invited Speaker to give presentation entitled 'Biohydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent by Thermophilic Fermentative Process' In The Asian Core Program (ACP) Satellite Seminar at Ho Chi Minh City, Vietnam, during 18-19 June, 2009 under the Collaborative Program among 4 countries; Thailand, Japan, Vietnam and Laos

Being an editor in the Editorial Board of Carbohydrate Polymers Journal since 2008.

Being a reviewer for the

International J Hydrogen Energy,  
 Bioresource Technology,  
 Journal of Chemical Technology & Biotechnology,  
 Journal of Industrial & Engineering Chemistry Research  
 Journal of Environmental Management  
 Biochemical Engineering Journal  
 Songklanakarin Journal Science and Technology  
 Kasetsart Journal

#### CONFERENCES / SEMINAR (International)

Sattayasmithtid, S. Prasertsan, P. and Methacanon, P. 2010. Strategies of fed-batch fermentation for 1,3 propanediol production by *Klebsiella pneumoniae* SU6 using glycerol from biodiesel plant. American Society for Microbiology (ASM), San Diego, USA.

Prasertsan, P. Sattayasmithtid, S. and Methacanon, P. 2009. Rapid Screening and Optimization for 1,3 Propanediol Production. Poster presentation at BIT's 2<sup>nd</sup> Annual World Congress of Industrial Biotechnology. April 5-7, 2009, Seoul, South Korea. P. 291.

Sattayasmithtid, S. Prasertsan, P. and Methacanon, P. 2009. Effect of pH-controlled on 1,3 propanediol and organic acid by *Klebsiella pneumoniae* SU6 growing on crude glycerol. Poster presentation at International Congress of Malaysian Society for Microbiology (ICMSM) December 1-4, 2009, Penang, Malaysia. p.333.

Prasertsan, P., Noparat, P. and O-Thong, S. 2009. Optimization for production of ethanol from palm oil mill effluent using *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* PSU-2. BIT's 2<sup>nd</sup> Annual

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

World Congress of Industrial Biotechnology (ibio2009). Held during April 5-7, 2009. Seoul, Korea.

O-Thong, S., Prasertsan, P., Karakashev, D. and Angelidaki, I. 2009. Bioaugmentation of an upflow biofilm biohydrogen producing reactors under extreme-thermophilic condition (70oC) for improvement of the hydrogen yield and start up time. BIT's 2<sup>nd</sup> Annual World Congress of Industrial Biotechnology (ibio2009). Held during April 5-7, 2009. Seoul, Korea.

O-Thong, S., Prasertsan, P., and Imai, T. 2009. Bioprospecting thermophilic microorganisms from Southern Thailand geothermal spring for biohydrogen production from xylose. The 10<sup>th</sup> Asian Hydrogen Energy Conference 2009 held during April 8-10, 2009 in Daegu, Korea.

Hniman, A., Prasertsan, P., and O-Thong, S. 2009. Biohydrogen production from cellulose by syntrophic co-culture of *Bacillus* sp. and *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* PSU-2. The 10<sup>th</sup> Asian Hydrogen Energy Conference 2009 held during April 8-10, 2009 in Daegu, Korea.

Prasertsan, P. 2008. Biohydrogen production from palm oil mill effluent (POME) by thermophilic fermentative process. Keynote Speech at The 2008 Asian Biohydrogen Symposium and Asian Biohylink Forum. December 26-28, 2008. Harbin, China.

Prasertsan, P. 2008. Biofuels in Thailand. Invited Speaker in the General Session I : Biofuels Around the World at 2008 World Biofuels Symposium-China. 19-22 October, 2008. Tsinghua University, Beijing, China. 8 pages.

Prasertsan, P., O-Thong, S. and Birkeland, N. K. 2008. Thermophilic biohydrogen production from palm oil mill effluent under batch and fed-batch cultivation with microbial community analysis. The 13<sup>th</sup> International Biotechnology Symposium and Exhibition (IBS 2008): Biotechnology for the Sustainability of Human Society. October 12-17, 2008. Dalian World Expo Center, Dalian, China.

Suwansa-ard, M., Prasertsan, P., Choorit, W. and Zeiltra-Ryalls, J. 2008. Phototrophic hydrogen production and characterization of newly isolated *Rhodospseudomonas* sp. TN1. The 13<sup>th</sup> International Biotechnology Symposium and Exhibition (IBS 2008): Biotechnology for the Sustainability of Human Society. October 12-17, 2008. Dalian World Expo Center, Dalian, China.

Riansa-ngawong, W. Prasertsan, P. and Iiyama, K. 2008. Statistical Studies on hemicellulose production from delignified palm pressed fiber. Proceeding of Journal of Biotechnology. Vol. 136/s (2008) S1-S772 IBS Conference, October 12-17, 2008. Dalian, China.

Sattayasmithstid, S., Prasertsan, P. and Methacanon, P. 2008. Improvement of *Klebsiella pneumoniae* SU6 for enhanced 1,3 propanediol production from

glycerol residues of biodiesel plant. The 13<sup>th</sup> International Biotechnology Symposium and Exhibition (IBS 2008): Biotechnology for the Sustainability of Human Society. October 12-17, 2008. Dalian World Expo Center, Dalian, China. P. 427-428.

Prasertsan, P., Riansa-ngawong, W. and Iiyama, K. 2008. Furfural production from hemicelluloses of delignified palm pressed fiber using two-stage process. The 4<sup>th</sup> European BioRemediation Conference. September 3-6, 2008. Chania, Crete, Greece.

Prasertsan, P., Chaisorn, W. and Methacanon, P. 2008. Chemical composition and flocculation property of biopolymers from thermotolerant bacteria and potential application. BIT's 1<sup>st</sup> Annual World Congress of ibio2008. May 18-21, 2008, Hangzhou, China.

Prasertsan, P., O-Thong, S. and Birkeland, N. K. 2008. Thermophilic biohydrogen production from palm oil mill effluent by mixed culture community using anaerobic sequencing batch reactor (ASBR). International Workshop on Biohydrogen Technology, 6-9 February, 2008. Kharagpur, India.

O-Thong, S., Prasertsan, P., Karakashev, D. and Angelidaki, I. 2008. Specific detection of *Thermoanaerobacterium* spp., *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum*, and *Caldicellulosiruptor* spp. in thermophilic biohydrogen producing system by fluorescent *in situ* hybridization (FISH). International Workshop on Biohydrogen Technology, 6-9 February, 2008. Kharagpur, India.

O-Thong, S., Prasertsan, P. and Hniman, A. 2008. Production of hydrogen and methane from palm oil mill effluent using a two stage anaerobic digestion process. The 2008 Asian Biohydrogen Symposium, 26-28 December, 2008. Harbin, China.

O-Thong, S., Prasertsan, P., Karakashev, D. and Angelidaki, I. 2007. High-rate hydrogen production in up-flow anaerobic sludge blanket reactor using immobilized *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* PSU-2 with treated methanogenic granules. Anaerobic Digestion Conference. 26-28 October, 2007. Brisbane, Australia.

Prasertsan P., O-Thong S., Intrasungkha N., Dhamwichukorn S. and Nils-Kåre Birkeland. 2007. Thermophilic biohydrogen production from palm oil mill effluent with anaerobic sequencing batch reactor and microbial community structure. The 2<sup>nd</sup> Fermentation Technology for Value Added Agricultural Products Conference. 23-25 May 2007, Khonkhen University, Thailand.

Prasertsan, P., O-Thong, S., Intrasangkha, N., Dhamsichukorn, S. and Birkeland, N. K. 2006. Optimization of thermophilic fermentative hydrogen production from palm oil mill wastewater by *Thermoanaerobacterium*-rich sludge. Poster

presentation at IWA World Water Congress and Exhibition. 20-25 October, 2006. Beijing International Convention Center. Beijing.

O-Thong, S., Intrasangka, N. and Prasertsan, P. 2005. Evaluation on the impact of Bacillales and Lactobacillales augmentation for shrimp farming wastewater improvement by fluorescence in situ hybridization (FISH). 1<sup>st</sup> IWA-ASPIRE. Conference. 10 – 15 July, 2005. Singapore.

O-Thong, S. and Prasertsan, P. 2005. Effect of inoculum source and high temperature on biohydrogen production from palm oil mill effluent using anaerobic mixed culture. RGJ Seminar Series XXXV: Science and Technology and Medicines. 19 August, 2005. Prince of Songkla University.

Prasertsan, P., H-Kittikun, A. and Muneesri, P. 2004. Bioseparation of suspended solid and oil from palm oil effluent and secondary treatment by photosynthetic bacteria. Proceedings of the European symposium on Environmental Biotechnology, ESEB 2004. (Verstraete, Wed.) 28-28 April, 2004. Oostende, Belgium. P. 771-774.

Prasertsan, P. and Prasertsan, S. 2004. Bio-Resources from agro-industrial wastes in Thailand : The utilization and management. JIRCAS International Workshop on “Toward More Effective and Efficient International Collaborative Research for Sustainable East Asian Agriculture and Rural Development” Maruay Garden Hotel, Bangkok. 19-20 February, 2004.

Prasertsan, P., Prasertsan, S. and Iiyama, K. 2004. Biosphere of Southern Thailand : An overview of biodiversity, degradation and mechanism for restoration. The 1<sup>st</sup> COE International Symposium on “Environmental Degradation and Ecosystem Restoration in East Asia.” 14 February, 2004 Tokyo, Japan.

Chaikritsakarn, A, Prasertsan, P. and Boonsawang, P. 2004. Production of 5-aminolevulinic acid from *Rhodobacter capsulatus* SS3 cultivating in monosodium glutamate effluent. Sustainable Energy and Environment Conference. Hua-Hin, Cha-am, Prachuabchirikhan. 1-3 December, 2004.

Paungfoo, C., Burrell, P., Prasertsan, P., Intrasangka, N., and Blackall, L. 2004. Who is responsible for nitrite oxidation in aquaculture systems? 3<sup>rd</sup> National Environmental Conference. January 28-29, 2004. Songkhla, Thailand.

Paungfoo, C., Burrell, P., Prasertsan, P., Intrasangka, N., and Blackall, L. 2003. Investigation of nitrifying bacteria communities in aquaculture wastewater treatment system using Fluorescence In Situ Hybridization (FISH) and phylogenetic analysis. Asian Waterqual 2003. October 19-23, 2003. Bangkok, Thailand.

O-Thong, S., Prasertsan, P. and Intrasangka, N. 2003. Comparison of simultaneous carbon and ammonia-nitrogen removal efficiencies from shrimp farming

- wastewater using commercial and natural microbial inocula in sequencing batch reactor. In Asian Waterqual 2003. October 19-23, 2003. Bangkok, Thailand.
- O-Thong, S., Prasertsan, P. and Intrasungkha, N. 2003. Comparison of simultaneous organic carbon and ammonia – nitrogen removal efficiencies from shrimp farming wastewater using commercial and natural microbial inocula in sequencing batch reactor. *AsianWaterqual 2003 Conference*. 19-23 October, 2003. Bangkok, Thailand.
- Paungfoo, C., Prasertsan, P., Intrasungkha, N., Blackall, L. and Bhamidimarri, R. 2003. Enrichment of nitrifying microbial communities from shrimp farms and commercial inocula. Environmental Biotechnology Conference. April 15-17, 2002, Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- Paungfoo, C., Prasertsan, P., Burrell, P., Intrasungkha, N., Blackall, L. 2003. Investigation of nitrifying bacterial communities in an aquaculture wastewater treatment system using fluorescence *in situ* hybridization (FISH), 16S rRNA gene cloning and phylogenetic analysis. *Asian WaterQual 2003 IWA Asia-Pacific Regional Conference*. October 20-23, 2003, Bangkok, Thailand. P. 41-42.
- Prasertsan, P., Prasertsan, S., and Yoshida, T. 2002. Green products from agro-industrial wastes utilization. International Conference on Tropical Bio-Resources and Green Chemistry Strategy. October 28-30, 2002. Grand Cube Osaka (Osaka International Convention Center). Osaka, Japan.
- Paungfoo, C., O-thong, S., Prasertsan, P., Intrasungkha, N., and Bhamidimari; R. -2002. Enrichment of nitrifying microbial communities from shrimp farms and commercial inocula. Environmental Biotechnology 2002. Proceeding of Environmental Biotechnology 2002 Conference. 15-17 April, 2002. New Zealand.
- O-thong, S., Songsang, S., Jaubongo, S., Prasertsan, P. and Intrasungkha, N. 2002. Survey of microbial inocula used in shrimp cultivation and preliminary evaluation of their treatment efficiency of shrimp farm effluent in Songkhla province. Thao Ngam Science Consortium Conference, 24-25 November, 2002. Pitsanulok, Thailand.
- Paungfoo, Ch., Prasertsan, P., Intrasungkha, N. and Bhamidimarri, R. 2002. Microbial community structure in shrimp farm wastewater during treatment in SBR system. Environmental Biotechnology, 2002, April 15-17, 2002. Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- Polmong, R. Prasertsan, P.\* and Sly, L. 2001. Biosorption of nickle and cadmium by immobilized *Pediomicrobium manganicum*. The 10<sup>th</sup> European Congress in Biotechnology : Biotechnological Challenges in the New Millennium. Madrid (Spain), 8-11 July, 2001. P.134.

- Prasertsan, P\*., Jitbunjerdkul, S., Trairatnanukoon, W. and Prachumratana, T. 2001. Production of enzyme and protein hydrolysate from fish processing waste. Oral presentation at the International Conference on New Horizons in Biotechnology. April 18-21, 2001. Trivandrum, India.
- Prasertsan, P., Wichienchot, S., Dermlim, W. and Doelle, H. W. 2000. Screening and optimization for biofloculant production by isolated *Enterobacter cloacae* under batch and fed-batch cultivation. BIOTECHNOLOGY 2000 The World Congress on Biotechnology and the 11<sup>th</sup> International Biotechnology Symposium and Exhibition. 3-8 September, 2000. ICC, Berlin, Germany. p. 357.
- Prasertsan, P., Madla, S. and Methakanon, P. 2000. Characterization of polyglutamic acid produced from thermotolerant bacterial isolates. Oral presentation at the International Symposium on the Bioconversion of Renewable Raw Materials : Expo 2000 Hannover. 25-29 September, 2000, German Research Centre for iotechnology (GBF), Braunschweig, Germany. Abstract p.37.
- Prasertsan, P., Petsuit, M., Kaewchai, S., Madla, S., Ukita, M. and Imai, T. 2000. Biopretreatment of palm oil mill effluent using thermotolerant microorganisms. Oral presentation at The 2<sup>nd</sup> Joint Seminar on Development of Thermotolerant Microbial Resources and their Applications. 21-25 November, 2000. Yamaguchi, Japan. Abstract p.50.
- Prasertsan, S. and Prasertsan, P.: 1999. Bioindustry in Southern Thailand : Environmental problem and strategies to harmonize with environment. Proceeding of the International Symposium on "Can Biological Production Harmonize with Environment ? October 19-20, 1999. The United Nations University, Tokyo. p. 87-90.
- Prasertsan, P., Jaturapronpipat, M. and Siripatana, C. 1996. Utilization of tuna condensate by photosynthetic bacteria. Proceeding of Environmental Biotechnology'96 Conference, 1-4 September, 1996. Palmerston North, New Zealand. p. 530-546.
- Ratanapradit, K., Prasertsan, P\*., Tunskul, P. and Angsupanit, S. 1996. Cultivation of *Chlorella* sp. T9 in effluent from seafood processing plant. Biotechnology and Its Global Impact Conference. 7-11 October, 1996. Braunschweig, Germany.
- Prasertsan, P., Choorit, W. and Suwanno, S. 1994. Utilization of seafood processing by-products for cultivation of photosynthetic bacteria. Paper presented at the International Symposium on Bioproducts Processing *Technologies for the Tropics*. 4-7 January, 1994. University of Malaya, Malaysia.
- Prasertsan, P., Choorit, W. and Suwanno, S. 1992. Cultivation of isolated photosynthetic bacteria in wastewater from seafood processing plant. Ninth

International Biotechnology symposium and Exposition “Harnessing Biotechnology for the 21th Century”. Abstracts. August 16-21, 1992. Crystal City, Virginia, USA.

#### CONFERENCES / SEMINAR (Regional and Local)

Riansa-ngwong, W. and Prasertsan, P. 2009. Ethanol production from hydrolysate of delignified palm press fiber by *Candida shehatae* TISTR 5843 . the 3<sup>rd</sup> International Conference on Fermentation Technology for Value Added Agricultural Products (FerVAAP2009), 26-28 October, 2009. Khon Kaen, Thailand.

Pensawat, S., Prasertsan, P. 2008. Properties of Biopolymers from Sterilizer condensate. Annual Meeting and International Conference of the Thai Society for Biotechnology TSB 2008 : Biotechnology for Global Care. Taksila Hotel, Mahasarakhum. October 14<sup>th</sup> - 17<sup>th</sup>, 2008.

O-thong, Prasertsan, P., Intrasangkha, N., Danle, H. and Birkeland, N. K. 2008. Isolation and microbial community analysis of a thermophilic mixed culture sludge for biohydrogen production. TSB 2008 : Biotechnology for Global Care, 14-17 October, 2008. Mahasarakham, Thailand.

Ciptanto, A., Prasertsan, P., and Hanpongkittikun, A. 2008. Optimization on ethanol production from glycerol using *Enterobacter aerogenes* TISTR 1468. Annual Meeting and International Conference of the Thai Society for Biotechnology TSB 2008 : Biotechnology for Global Care. Taksila Hotel, Mahasarakhum. October 14<sup>th</sup> - 17<sup>th</sup>, 2008.

Rehdumlee, S. and Prasertsan, P. 2008. Screening and production of *Monascus* pigment cultivated on palm kernel meal. Annual Meeting and International Conference of the Thai Society for Biotechnology TSB 2008 : Biotechnology for Global Care. Taksila Hotel, Mahasarakhum. October 14<sup>th</sup> - 17<sup>th</sup>, 2008.

Chaisorn, W., Prasertsan, P. and Methacanon, P. 2007. Effect of cultivation medium and temperature on production of biopolymer from thermotolerant bacteria. Thai Society for Biotechnology (TSB). 7-9 November, 2007. Thammasart University.

Prasertsan, P., O-Thong, S., Intrasangkha, N., Dhamsichukorn, S. and Birkeland, N. K. 2007. Thermophilic biohydrogen from palm oil mill effluent with anaerobic sequencing batch reactor and microbial community structure. The 2nd Fermentation Technology for Value Added Agricultural Products Conference. 23-25 May, 2007. Khonkhen University.

O-thong, Prasertsan, P., Intrasangkha, N., Dhamsichukorn, S. and Birkeland, N. K. 2005.

Effect of inoculum source and high temperature on biohydrogen production

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

from palm oil mill effluent using anaerobic mixed cultures. RGJ. Seminar Series XXXV: Science Technology and Medicines. 19 August, 2005. Prince of Songkla University.

- Bandaipheth, C. and Prasertsan, P. 2005. Some physical properties and flow rheological assessment of exopolysaccharide produced by *Enterobacter cloacae* WD7. BioThailand 2005. 2-5 November, 2005. The Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand
- Bangrak, P., Duangsuwan, W., Ukita, M. and Prasertsan, P. 2005. Production of compost from palm oil mill wastes. BioThailand 2005. 2-5 November, 2005. The Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand.
- Kemavongse, K., Upaichit, A., Methacanon, P. and Prasertsan, P. 2005. Production of copolymer PHBV from newly identified photosynthetic bacterial mutant strain U7. BioThailand 2005. 2-5 November, 2005. The Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand.
- Paungfoo, C., Burrell, P., Prasertsan, P., Intrasungkha, N., and Blackall, L. 2004. Who is responsible for nitrite – oxidation in aquaculture systems? The 3<sup>rd</sup> National Environmental Conference. January 28-30, 2004, Songkhla, Thailand.
- Rattanaphan, S., Prasertsan, P., Petcharat, W. and Ukita, M. 2004. Treatment and decolonization of palm oil mill effluent by mycelia of *Lentinus* sp. Presented at The 15<sup>th</sup> Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology on "Sustainable Development of SMEs Through Biotechnology. February 3-6, 2004. Pang Suan Kaew Hotel, Chiang Mai, Thailand.
- Paungfoo, C., Burrell, P., Prasertsan, P., Intrasungkha, N., Blackall, L. 2003. Who is responsible for nitrate-oxidation in aquaculture systems? The 3<sup>rd</sup> National Environmental Conference. January 28-30, 2004, Songkhla, Thailand.
- Prasertsan, P., Pechsuth, M. and Ukita, M. 2002. Anaerobic digestion of palm oil mill effluent pretreated by thermotolerant polymer-producing fungi. The 3<sup>rd</sup> JSPS-NRCT Joint Seminar on Development of Thermotolerant Microorganisms and Their Applications. 18-20 November, 2002. Chiangmai, Thailand.
- Kiatipimon, W., Prasertsan, P., Tantikitti, C. and Jitbunjerdkul, S. 2002. Value added products from seafood processing wastes. Extended Abstracts, The 3<sup>rd</sup> National Symposium on Graduate Research. 18-19 July, 2002. Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima.
- Madmarn, W., Prasertsan, P., Choorit, W. and Promkunthong, W. 2002. Strain improvement of halotolerant photosynthetic bacteria for over production of 5-aminolevulinic acid under aerobic-dark condition. Extended Abstracts, The 3<sup>rd</sup> National Symposium on Graduate Research. 18-19 July, 2002. Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima.

- O-Thong, S., Songsang, S., Jaubongso, S., Prasertsan, P. and Intrasungkha, N. 2002. Survey of microbial inocula used in shrimp cultivation and preliminary evaluation of their treatment efficiency of shrimp farm effluent in Songkhla province. Thao Ngam Science Consortium Conference. 24-25 November, 2002. Phitsanulok, Thailand.
- Prasertsan, P. 2001. Overview of agro-industrial waste utilization in Thailand. Thailand-Japan Joint Workshop on Sustainable Utilization of Bio-Resources. 13 December, 2001. Mahidol University, Bangkok.
- Paungfoo, C., O-Thong, S., Rokaerd, S., Prasertsan, P., Intrasungkha, N. and Bhamidimarri, R. 2001. Comparison between ammonia removal efficiencies of natural and commercial nitrifying bacteria in saline wastewater by sequencing batch reactor (SBR). BioThailand 2001. November 7-10, 2001, Queen Sirikit National Conventional Center, Bangkok, Thailand.
- Paungfoo, C., O-Thong, S., Prasertsan, P., Intrasungkha, N. and Bhamidimarri, R. 2001. Ammonia removal from saline wastewater by nitrifying bacteria in sequencing batch reactor (SBR). The 27<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand (27<sup>th</sup> STT). October 16-18, 2001, Hat Yai, Songkhla, Thailand.
- Prasertsan, P. 2001. Utilization and treatment of palm oil mill wastes. Paper presented at JICA Joint Meeting on "Waste Management and Utilization". Faculty of Engineering, Thammasart University, Rungsit Campus, Bangkok, March 14, 2001.
- H-Kittikun, A. and Prasertsan, P. 2001. Reuse of sterilizer condensate in palm oil extraction process. Paper presented at JICA Joint Meeting on "Waste Management and Utilization". Faculty of Engineering, Thammasart University, Rungsit Campus, Bangkok, March 14, 2001.
- Madla, S., Prasertsan, P. and Methakanon, P. 2000. Screening of thermotolerant polymer-producing bacteria and characterization of the polymers. The 12<sup>th</sup> Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology "Biotechnology : Impacts & Trends". 1-3 November, 2000. Kanchanaburi, Thailand.
- Trairatananukoon, W., Prasertsan, P. and Jitbunjerdkul, S. 2000. Effect of drying and storage condition on the properties of proteases from viscera of tuna (*Thunnus albacares*). The 12<sup>th</sup> Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology "Biotechnology : Impacts & Trends". 1-3 November, 1-3 November, 2000. Kanchanaburi, Thailand.
- Wongwattanawisit, W., Prasertsan, P. and Puetpaiboon U. 2000. Biogas production from excess activated sludge of seafood processing plant. The 12<sup>th</sup> Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology "Biotechnology : Impacts & Trends". 1-3 November, 2000. Kanchanaburi, Thailand.

- Jomsawat, J., Choorit, W., Prasertsan, P. and Supamattaya, K. 2000. Screening of photosynthetic bacteria from shrimp cultivation and its potential to inhibit luminescence disease from *Vibrio harveyi*. The 12<sup>th</sup> Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology "Biotechnology : Impacts & Trends". 1-3 November, 1-3 November, 2000. Kanchanaburi, Thailand.
- Juthog, T., Choorit, W., Prasertsan, P. and Suntinalert, P. 2000. Screening and characterization of protease from halophilic bacterium. The 12<sup>th</sup> Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology "Biotechnology : Impacts & Trends". 1-3 November, 1-3 November, 2000. Kanchanaburi, Thailand.
- Saetan, W., Prasertsan, P. and H-Kittkun, A. 2000. Production of fatty acid from palm oil by immobilized lipase. The 12<sup>th</sup> Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology "Biotechnology : Impacts & Trends". 1-3 November, 2000. Kanchanaburi, Thailand.
- Kaewthong, W., Prasertsan, P. and H-Kittikun, A. 2000. Monoacylglycerols production from palm olein by lipase in continuous stirred tank with an in-line separation column. The 12<sup>th</sup> Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology "Biotechnology : Impacts & Trends". 1-3 November, 2000. Kanchanaburi, Thailand.
- Jantaro, S., Prasertsan, P. and Hunpongkittikul, A. 1999. Purification and characterization of trypsin and chymotrypsin from viscera of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and their application. Abstract of the 5<sup>th</sup> Asia-Pacific Biochemical Engineering Conference 1999 and the 11<sup>th</sup> Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology. 15-18 November, 1999. Phuket, Thailand.
- Rakphan, S., Prasertsan, P. and Choorit, W. 1999. Comparison on growth of two photosynthetic bacterial strains in synthetic media and seafood processing effluents. Abstract of the 5<sup>th</sup> Asia-Pacific Biochemical Engineering Conference 1999 and the 11<sup>th</sup> Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology. 15-18 November, 1999. Phuket, Thailand.
- Wichienchot, S., Prasertsan, P. and Doelle, H. W. 1999. Optimization for biopolymer production by *Enterobacter cloacae* WD7. Abstract of the 5<sup>th</sup> Asia-Pacific Biochemical Engineering Conference 1999 and the 11<sup>th</sup> Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology. 15-18 November, 1999. Phuket, Thailand.
- Promduang, S., Prasertsan, P. and H-Kittikun, A. 1999. Production of monoacylglycerol from glycerolysis of palm oil by immobilized lipase. Abstract of the 5<sup>th</sup> Asia-Pacific Biochemical Engineering Conference 1999 and the 11<sup>th</sup> Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology. 15-18 November, 1999. Phuket, Thailand.
- Kaewthong, W., Prasertsan, P. and H-Kittikun, A. 1999. Monoacylglycerols production from palm oil by immobilized lipase in continuous stirred-tank

and packed-bed reactors. Abstract of the 5<sup>th</sup> Asia-Pacific Biochemical Engineering Conference 1999 and the 11<sup>th</sup> Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology. 15-18 November, 1999. Phuket, Thailand.

Dermlim, W, Prasertsan, P. and Doelle, W. H. 1998. Production of microbial flocculant. The 10<sup>th</sup> Annual Meeting of Thai Society for Biotechnology and The 1998 Annual Meeting of the National Center for Genetic Engineering and Biotechnology on "Biotechnology for a Self-sufficient Economy" 25-27 November 1998. Phuket, Thailand.

Sangpud, C., Prasertsan, P. and H-Kittikun, A. 1998. Hydrolysis of palm oil in organic solvent by immobilized lipase. The 10<sup>th</sup> Annual Meeting of Thai Society for Biotechnology and The 1998 Annual Meeting of the National Center for Genetic Engineering and Biotechnology on "Biotechnology for a Self-sufficient Economy" 25-27 November 1998. Phuket, Thailand.

Polmang, R., Prasertsan, P. and Sly, L. 1998. Biosorption of nickel and cadmium by *Pedomicrobium manganicum* ACM 3067 immobilized on granular activated carbon. The 10<sup>th</sup> Annual Meeting of Thai Society for Biotechnology and The 1998 Annual Meeting of the National Center for Genetic Engineering and Biotechnology on "Biotechnology for a Self-sufficient Economy" 25-27 November 1998. Phuket, Thailand.

Polmang, R., Prasertsan, P. and Sly, L. 1998. Adsorption of nickel and cadmium by *Pedomicrobium manganicum* ACM 3067. Paper presented at the 2<sup>nd</sup> IMT-GT UNINET Conference, 29-30 Aug., 1998, J. B. Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand.

Chantaphaso, S., Prasertsan, P. and H-Kittikun, A. 1997. Factors influencing separation of suspended solids and oil from palm oil mill effluent by enzymes. JSPS-NRCT-DOST-LIPI-VCC 2nd Seminar and The 9th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology. 19-22 November, 1997. Nakhonratchasima, Thailand.

Prachumratana, T., Prasertsan, P. and Choorit, W. 1997. Types and properties of enzymes from tuna viscera. JSPS-NRCT-DOST-LIPI-VCC 2nd Seminar and The 9th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology. 19-22 November, 1997. Nakhonratchasima, Thailand.

Saetea, J., Prasertsan, P. and H-Kittikun, A. 1997. Selection and optimization of lipase production from thermophilic bacteria isolated from palm oil mills. JSPS-NRCT-DOST-LIPI-VCC 2nd Seminar and The 9th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology. 19-22 November, 1997. Nakhonratchasima, Thailand.

Sangsri, R., Prasertsan, P. and Choorit, W. 1996. Effect of nutrient concentration on growth of *Rhodocyclus gelatinosus* R7 in tuna condensate. Biotechnology :

Prospects for the Future. 14-15 November, 1996. Prachuap Khiri Khan, Thailand. p. 72.

Phichaiyut, W., Hanpongkittikun, A. and Prasertsan, P. 1996. Immobilization of lipase and application to the hydrolysis of palm oil. Biotechnology : Prospects for the Future. 14-15 November, 1996. Prachuap Khiri Khan, Thailand. p. 54.

#### 4.ประวัติผู้ร่วมวิจัย

- 1.ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ผศ.ปัญญา แดงวิลักษณ์
2. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof.Panya Daungviluilux
3. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3730300922441
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร หมู่ 6 ตำบลชุมโค  
อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160 โทรศัพท์ และโทรสาร 0-77 59-1450, 086-7546234  
e-mail : kdpanya@kmitl.ac.th

#### 5. ประวัติการศึกษา

ปี ที่ จบ การศึกษา	ระดับ ปริญญา	อักษรย่อ ปริญญาและ ชื่อเต็ม	สาขาวิชาเอก	วิชาเอก	สถาบันการศึกษา	ประเทศ
2542	โท	วศ.ม.	วิศวกรรม เครื่องกล	Thermo fluids	สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง	ไทย
2539	ตรี	วศ.บ.เกียรติ นิยมอันดับ 2	วิศวกรรม เครื่องกล	-	มหาวิทยาลัยสยาม	ไทย

#### 6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- 1.การออกแบบเครื่องจักรกลการเกษตร ทางด้านปาล์มน้ำมันครบวงจร
2. Graphic Design,CAD CAM CAE, Network, คอมพิวเตอร์

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

#### ประชุมวิชาการในระดับชาติ

ศิระ สายศร, วสันต์ ดั่งคำจันทร์, ปัญญา แดงวิลักษณ์ “การศึกษากลไกการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วมกับฟลูอิดไดซ์เบด”การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, หน้าที่ 860-863. ตุลาคม 2547, จ.ขอนแก่น

ศิระ สายศร ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ “การเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวโพดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟและเครื่องอบแห้งแบบหมุนร่วมกับไมโครเวฟ”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, หน้าที่ 1079-1084. ตุลาคม 2548, จ.ภูเก็ต

ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ จำลอง ปราบแก้ว “เครื่องบีบน้ำมันปาล์มขนาดเล็กสำหรับกลุ่มเกษตรกร”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, หน้าที่ 360-365. ตุลาคม 2548, จ.ภูเก็ต

ดิษฐพร ตุงโสธานนท์, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, พงษ์เจต พรหมวงศ์ และ วชร กาลาสี. 2549. “ความต้องการพลังงานภาคการผลิตของประเทศไทยในแต่ละช่วงของเศรษฐกิจ: ส่วนที่ 1 ช่วงปี 1987-2004”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

วชร กาลาสี, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์. 2549. “แนวโน้มความต้องการพลังงานในภาคการผลิตของไทย: ส่วนที่ 2 (2005-2020)”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, ศิระ สายศร “เครื่องบีบน้ำมันปาล์มแบบสายพานกรองอัตโนมัติขนาดเล็กสำหรับกลุ่มเกษตรกร” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2018-20 ตุลาคม 2549 จังหวัดนครราชสีมา

กฤษ สมนึก ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ วชร กาลาสี “พัฒนาการอบปาล์มน้ำมันด้วยไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ จำลอง ปราบแก้ว “เครื่องแยกผลปาล์มออกจากทะเลาะแบบลากจูง” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ และ กฤษ สมนึก “เครื่องเคลือบไขผลส้มโอ” การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10 ประจำปี 2552, 1 - 3 เมษายน 2552 ณ สุรสัมมนาการ ม. เทคโนโลยีสุรนารี

ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, วชร กาลาสี “การพัฒนาเครื่องไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่องในการอบผลหมาก” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 4 - 7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่

ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ “การทำความเย็นแบบแอร์ฟอล์ยสำหรับกล้วยเล็บมือนางบรรจุกล่อง” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ และ จำลอง ปราบแก้ว “การพัฒนาเครื่องแยกเนื้อและเมล็ดปาล์มกึ่งอัตโนมัติสำหรับกลุ่มเกษตรกร” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

### ประชุมวิชาการในระดับนานาชาติ

Patara Suppatkul, Panya Daungvilailus and Chamlong Prabkeao. "Development of Palm Oil Pressing Machine Without Sterilization Process" International Workshop Strengthening the Application of Agricultural Engineering and Post harvest Technology for Effective and Sustainable Development in Agricultural Production, pp 129, Dec 2005, Hanoi, Vietnam

Panya Daungvilailus "Para rubber seed cracking and separating machine" International Workshop Strengthening the Application of Agricultural Engineering and Post harvest Technology for Effective and Sustainable Development in Agricultural Production, pp 129, Dec 2005, Hanoi, Vietnam

Panya Daungvilailux, Charuwat Chareonsuk. "Development Of Cashew Kernel( Anacardium Occidentale Of Fumigato) With Microwave By Using A Continuous Belt, The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering 19-21 October, 2011, Krabi

Panya Daungvilailux, The study of separate machine crude palm oil with hot water and centrifugation from mesocarp palm for farmer usage, The International conference of the Thai Society of Agricultural Engineering 2012, April 4 – 5, 2012, Chiangmai, Thailand

Panya Daungvilailux, Jarruwat Charoensuk, Evaluation of oil palm wood drying process using Microwave by using a Continuous Belt., The 3<sup>rd</sup> TSME International Conference on Mechanical Engineering 24-27 October 2012, Chiang Rai.

### ผลงานทางวิชาการในลักษณะอื่นๆ

สิ่งประดิษฐ์ “ เครื่องแยกผลปาล์มจากทะลาย ชนิดดัดกลมและฐานหมุน ” จำลอง ปราบแก้ว , จารุวัตร เจริญสุข และ ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ “ ผลงานดีเด่น สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย แห่งชาติ ประจำปี พ.ศ.2545ได้รับอนุสิทธิบัตร เลขที่ 1339 เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2546. และได้ เผยแพร่ใน วารสารสมาคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ปีที่ 2 เล่มที่ 3 ประจำเดือนกุมภาพันธ์- มีนาคม 2546 , วารสาร UP DATE, ปีที่ 18 ฉบับที่ 185 ประจำเดือน มกราคม 2546. และจดหมายข่าว ปาล์มน้ำมัน ปีที่ 3 ฉบับที่ 4 เดือน ธันวาคม 2545 – กุมภาพันธ์

## 5. ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาววารุณี ลิมมัน
2. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Warunee Limmun
3. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 1 8699 00030 57 6
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมศาสตร์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร หมู่ 6 ตำบลชุมโค  
อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160 โทร. 077-506-410 มือถือ 0-84388-0398  
E-mail: klwarune@kmitl.ac.th

## 5. ประวัติการศึกษา

- |           |  |
|-----------|--|
| พ.ศ. 2551 | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)<br>มหาวิทยาลัยศิลปากร                      |
| พ.ศ. 2553 | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน)<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ  
การออกแบบเครื่องจักรกลด้วย CAD (Computer-aided design), กระบวนการผลิต  
ไบโอดีเซล, พลังงานทดแทน

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุ  
สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัย  
ในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

## Publications and Presentations

“Production of Biodiesel Using Non-Thermal Energy Reactor”, Limmun, W.,  
Pairintra, R. and Krisnangkura, K., 2010, Conference on Energy Technology  
Network of Thailand; E-NETT, May 5-7, Holiday Inn Resort Regent Beach Cha-Am.