รายงานการวิจัย

การพัฒนาระบบตรวจวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพราคาต่ำ

Development of a low-cost biogas analyzer

โดย

นายกิตติวัณณ์ นิ่มเกิดผล

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายมาโนช ประชา

นายยุทธนา รองมี

ผู้ร่วมวิจัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อโครงงานวิจัย	การพัฒนาระบบตรวจวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพราคาต่ำ
	Development of a low-cost biogas analyzer
ผู้วิจัย	นายกิตติวัณณ์ นิ่มเกิดผล
	นายมาโนช ประชา
	นายยุทธนา รองมี
ปีที่ทำการวิจัย	2554

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ นำเสนอการออกแบบระบบตรวจวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพราคาต่ำ โดยเลือกชนิดของเซ็นเซอร์ รวมทั้งระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซก่อนป้อนเข้าสู่ระบบตรวจวัด ที่มีความเหมาะสมราคาไม่สูง และสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเซนเซอร์ที่เลือกใช้เป็นแบบ electrochemical โดยใช้ silica gel และ ferric oxide ในการปรับลดความชื้น และ ก๊าซ Hydrogen Sulfide ก่อนป้อนเข้าสู่ระบบตรวจวัดคุณภาพก๊าซ จากการทดสอบการใช้งานในโรงงานที่ผลิต biogas เพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าภายในโรงงานและจำหน่ายคืนสู่ชุมชน จำนวน 2 โรงงาน เป็นเวลา 1 เดือน พบว่าระบบเซ็นเซอร์และระบบบันทึกข้อมูล สามารถตรวจวัดและบันทึกก๊าซ CH_4, CO_2, O_2 และ H_2S ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเซนเซอร์ที่เลือกใช้มีอายุใช้งานประมาณ 2 ปี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 80,000 บาทต่อปี ซึ่งถูกกว่าระบบ NDIR ประมาณ ระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซสามารถปรับลดความชื้นและปริมาณก๊าซ H_2S ได้ โดยสามารถใช้งานได้ประมาณ 2-5 เดือนต่อการเปลี่ยนชุดสาร 1 ครั้งคิดเป็นเงิน 300-900 บาทต่อปี ซึ่งมีราคาถูกกว่าอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพก๊าซทั่วไปประมาณ 3-10 เท่าตลอดอายุการใช้งาน

คำสำคัญ

เครื่องตรวจวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ, การปรับปรุงคุณภาพก๊าซ, ต้นทุนต่ำ

Abstract

This research present a low cost biogas analyzer in which the 4 gas sensors and the gas purification system were chosen to compromise with the measuring environment with the lowest cost possible. Electrochemical sensors including CH_4, CO_2, O_2, and H_2S sensors were utilized as they produce linear output with long life span (about 2 years) and tolerate to humidity. Silica gel and ferric oxide (coal based) were utilized to treat the biogas before feed into the measuring system. The life cycle for selective sensor is approximately 2 years with cost of 80,000 bath/year, which is cheaper than NDIR system. The improvement of theses gas system can be done by decreased the quantity of gas humidity with the quantity of H_2S by replacing both silica gel and ferric oxide in every 2-5 months. The cost for replacing those is approximately 300-900 bath/year which is 3-10 times cheaper than commercially gas improvement system for a life time

Keywords

Biogas Analyzer, Gas conditioning, Low-cost

สารบัญ

บทคัดย่อ i
Abstract ii
สารบัญ iii
สารบัญรูป iv
สารบัญตาราง vi
บทนำ 1
ที่มาและความสำคัญ 1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 2
ขอบเขตของโครงการวิจัย 2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3
กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย 3
การทบทวนสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง 3
กระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ 5
การปรับปรุงคุณภาพก๊าซก่อนนำไปใช้งาน (Gas Purification) 7
ศักยภาพก๊าซชีวภาพรวมทั้งประเทศ 8
เซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซ 9
การดำเนินงานวิจัย 12
วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลองเก็บข้อมูล/ 12
เซ็นเซอร์และระบบตรวจวัดคุณภาพก๊าซ 12
การติดตั้งระบบตรวจวัดนาภาพแวดล้อมจริง 24
ผลการตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซ 31
กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม ทุก 4ชม. 31
กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม ทุก 4ชม. 33
กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม ทุก .ชม4 34
กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม ทุก .ชม4 36
กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร 38
กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร 38
กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร 39
กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร 39
กราฟแสดงข้อมูลองค์ประกอบก๊าซของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร 40
สรุปผลการวิจัย 41
เอกสารอ้างอิง 42

สารบัญรูป

รูป 2.1 Flowchart แสดงกระบวนการย่อยในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Digestion).....6
รูป 2.2 ตัวอย่าง CO_2 Infrared Sensor.....9
รูป 2.3 ตัวอย่าง CH_4 Infrared Sensor.....10
รูป 2.4 องค์ประกอบของเซนเซอร์แบบไฟฟ้าเคมี.....10
รูป 2.5 ตัวอย่าง H2 gas sensor.....11
รูป 2.6 ตัวอย่าง SO_2 Electrochemical Sensor.....11
รูป 3.1 Oxygen sensor (0-25%).....13
รูป 3.2 CO_2 sensor (0-100%).....13
รูป 3.3 CH_4 sensor (0-100%).....14
รูป 3.4 H_2S sensor (0-2000ppm).....14
รูป 3.5 การเชื่อมต่อระหว่าง Sensor modules กับ ภาคแสดงผล และ ภาคบันทึกข้อมูล.....15
รูป 3.6 การทดลองลดความชื้นด้วย Peltier Thermoelectric.....16
รูป 3.7 ตัวอย่าง Perlistic pump.....17
รูป 3.8 ต้วอย่าง Micro diaphragm pump.....17
รูป 3.9 Silica gel ขนาด 500g.....18
รูป 3.10 องค์ประกอบชอง Bio Scrubber และตัวอย่าง Bio Scrubber.....19
รูป 3.11 Ferric Oxide Desulferizer (coal based).....19
รูป 3.12 Thermaltake® SR100 Liquid Cooling Water Reservoir.....20
รูป 3.13 การบรรจุ Silica gel เพื่อลดความชื้น (ชั้นบน) และ Fourus Oxide เพื่อลดปริมาณ H_2S (ชั้นล่าง).....21
รูป 3.14 Dwyer® Air flow regulator.....21
รูป 3.15 การต่อ Diaphragm Pump, Gas Treatment, Sensors, Timer, และ Power Supply.....22
รูป 3.16 ระบบตรวจวัด ระบบแสดงผล และระบบบันทึกผล.....23
รูป 3.17 การติดตั้งเครื่องที่บริษัท A โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม.....24
รูป 3.18 การปรับเทียบค่าผลการวัดของระบบที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน.....26
รูป 3.19 การปรับเทียบค่าของระบบที่พัฒนาขึ้นกับก๊าซมาตรฐาน.....27
รูป 3.20 การติดตั้งเครื่องที่บริษัท B โรงเลี้ยงสุกร.....29

รูป 3.21 การต่อ sampling gas เข้าเครื่องวัด ที่บริษัท B 30
รูป 4.1 กราฟแสดงค่าปริมาณ CO_2 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 24 ส.ค. 31
รูป 4.2 กราฟแสดงค่าปริมาณ CO_2 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 26 ส.ค. 32
รูป 4.3 กราฟแสดงค่าปริมาณ CO_2 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 28 ส.ค. 32
รูป 4.4 กราฟแสดงค่าปริมาณ CH_4 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 24 ส.ค. 33
รูป 4.5 กราฟแสดงค่าปริมาณ CH_4 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 26 ส.ค. 33
รูป 4.6 กราฟแสดงค่าปริมาณ CH_4 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 28 ส.ค. 34
รูป 4.7 กราฟแสดงค่าปริมาณ H_2S ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 24 ส.ค. 34
รูป 4.8 กราฟแสดงค่าปริมาณ H_2S ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 26 ส.ค. 35
รูป 4.9 กราฟแสดงค่าปริมาณ H_2S ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 28 ส.ค. 35
รูป 4.10 กราฟแสดงค่าปริมาณ O_2 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 24 ส.ค. 36
รูป 4.11 กราฟแสดงค่าปริมาณ O_2 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 26 ส.ค. 36
รูป 4.12 กราฟแสดงค่าปริมาณ O_2 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 28 ส.ค. 37
รูป 4.13 กราฟแสดงค่าปริมาณ CO_2 ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร วันที่ 22 ก.ย. 38
รูป 4.14 กราฟแสดงค่าปริมาณ CH_4 ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร วันที่ 22 ก.ย. 38
รูป 4.15 กราฟแสดงค่าปริมาณ H_2S ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร วันที่ 22 ก.ย. 39
รูป 4.16 กราฟแสดงค่าปริมาณ O_2 ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร วันที่ 22 ก.ย. 39
รูป 4.17 ข้อมูลองค์ประกอบก๊าซของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร ระหว่างเวลา 8.00-9.00 วันที่ 20 Sep 40
รูป 5.1 Ferric Oxide Desulferizer หลังจากผ่านการใช้งาน 280 ชั่วโมง ที่มี H2S เฉลี่ย 300 ppm 41

สารบัญตาราง

ตาราง 2.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ.....4

ตาราง 2.2 ข้อมูลศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งประเทศในปี 2550.....8

ตาราง 3.1 คุณสมบัติของ Ferric Oxide Desulferizer (coal based) ที่ใช้ในงานวิจัย 20

1. บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

จากแนวโน้วการผลิตพลังงานทดแทนในปัจจุบันที่สูงขึ้นเนื่องจากความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นและรวมทั้งราคาพลังงานหลัก เช่น น้ำมัน มีแนวโน้วที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นรัฐบาลรวมถึงหน่วยงานทั้งต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน จึงสนับสนุนการผลิตและใช้พลังงานทดแทน เช่นก๊าซธรรมชาติ หรือเอทธานอล ซึ่งสามารถผลิตได้จากวัสดุจากธรรมชาติและของเสียที่ได้จากขบวนการผลิตจากวัสดุธรรมชาติภายในประเทศ จึงเป็นการเพิ่มความมั่นคงทางสังคมและเศรษฐกิจของประเทศ

ไบโอแก๊ส เป็นอีกหนึ่งพลังงานทางเลือกที่สามารถผลิตได้จากน้ำเสียจากขบวนการผลิตจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ และของเสียจากกระบวนผลิตจากเกษตรกรรมและประสุสัตว์ เช่นการผลิตเอทธานอล การผลิตน้ำตาล การผลิตน้ำมันปาล์ม การทำฟาร์มไก่หรือสุกร ซึ่งปัจจุบันโรงงานจำนวนมากสามารถผลิตไบโอแก๊สจากกระบวนการดังกล่าวเพื่อใช้ภายในโรงงาน และใช้เป็นพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าทั้งเพื่อใช้ในโรงงานหรือขายสู่หน่วยงานภายนอก ซึ่งปริมาณการผลิตรวมทั้งจำนวนโรงงานที่จะผลิตไบโอแก๊สมีแนวโน้มที่จะผลิตพลังงานที่มากขึ้น ซึ่งแก๊สที่ได้จากกระบวนดังกล่าวจะมีแก๊สที่สามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ต่าง ๆ และแก๊สที่เป็นพิษที่จำเป็นต้องควบคุมและกำจัดให้เหมาะสม

จากปัญหาดังกล่าว แนวทางการดำเนินงานของโรงงานขนาดกลางและเล็กในปัจจุบันยังไม่มีเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสม ทั้งในด้านขนาด ราคา การบำรุงดูแล เพื่อใช้ในการตรวจวัดและควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตไบโอแก๊ส ซึ่งผลกระทบจากการผลิตที่ไม่ได้มีการวัดและควบคุมปริมาณแก๊สพิษดังกล่าวเป็นปัญหาเร่งด่วนเนื่องจากปัญหาดังกล่าวมีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพชีวิตของผู้ปฏิบัติงานในโรงงานและชุมชมโดยรอบ อีกทั้งเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในการควบคุมมาตราฐานการผลิตพลังงานทดแทนของประเทศ และลดปัญหาสภาวะโลกร้อนที่มีปัญหาในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบตรวจวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับโรงงานขนาดกลางและเล็ก (กำลังการผลิต 1000 – 10,000 ลบ.ม.มาตราฐานต่อวัน) ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานภายในโรงงานหรือเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้งานภายในโรงงานและจำหน่ายกลับสู่ชุมชน
2. เพื่อลดอัตราเสี่ยงในการปล่อยก๊าซพิษ และก๊าซที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก จากการกระบวนการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ ที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของชุมชนโดยรอบ
3. เพื่อเพิ่มโอกาสในการขอรับรองจากโครงการคาร์บอนเครดิต ซึ่งเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับผู้ประกอบการ หรือโรงงาน

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. พัฒนาระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซก่อนเข้าระบบตรวจวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับกระบวนการวัด
2. พัฒนาระบบวัดและแสดงความเข้มข้นของส่วนผสมในก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย มีเทน ไฮโดนเจน ซัลไฟด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และอ๊อกซิเจน
3. ทดลองในโรงงานอย่างน้อย 2 แห่งที่มีกำลังการผลิตก๊าซไม่ต่ำกว่า 1000 ลบ.ม.มาตราฐานต่อวัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. จดสิทธิบัตรกระบวนการวัดและวิเคราะห์กลุ่มก๊าซหลักในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ
2. ผลิตระบบต้นแบบเพื่อติดตั้งและใช้งานในกลุ่มโรงงานเป้าหมาย
3. สามารถนำผลการตรวจวิเคราะห์เป็นเอกสารประกอบเพื่อยื่นขอรับรองจากโครงการคาร์บอนเครดิต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

โรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร เช่นโรงงานผลิตแป้งจากมันสำปะหลังและข้าวเจ้า โรงงานสกัดน้ำมันพืชจากปาล์มและถั่วเหลือง โรงงานเอทานอลและโรงงานแปรรูปอาหาร ผลิตของเสียและน้ำเสียปริมาณมาก ซึ่งในปัจจุบัน กลุ่มโรงงานดังกล่าวจำนวนมากได้นำน้ำเสียหรือของเสียดังกล่าวมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำหรับใช้ภายในโรงงานหรือเพื่อขายกลับสู่ชุมชน โดยโรงงานขนาดกลางและเล็กนั้น โดยส่วนมากไม่มีระบบตรวจวัดและการกำจัดก๊าซที่ไม่พึงประสงค์ รวมถึงก๊าซพิษ เนื่องจากระบบดังกล่าวยังมีราคาสูงเมื่อเทียบกับต้นทุนการผลิตสำหรับโรงงานดังกล่าว

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้มีเป้าหมายหลักเพื่อ พัฒนาระบบวัดและวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพแบบต้นทุนต่ำที่เหมาะสมสำหรับโรงงานขนาดกลางและเล็ก สำหรับการวัดและวิเคราะห์กลุ่มก๊าซที่จำเป็นต้องวัดและควบคุมจากการผลิตก๊าซชีวภาพ สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อสร้างความร้อนหรือผลิตกระแสไฟฟ้า รวมทั้งแนวทางการวัดเพื่อการกำจัดก๊าซที่เหลือจากกระบวนดังกล่าวให้เหมาะสมด้วย

การทบทวนสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดจากการหมัก (Fermentation) และ การย่อยสลายของสารอินทรีย์ ทั้งจากพืช สัตว์ มูลสัตว์ หรือ ขยะอินทรีย์ต่างๆ โดยใช้แบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนย่อยสารอินทรีย์ในบ่อหมักในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic condition)

องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ ที่เกิดขึ้นโดยขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ จะประกอบด้วย[1] ก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลัก และมีสมบัติเป็นก๊าซเชื้อเพลิง จะมีสัดส่วนอยู่ประมาณร้อยละ 50-70 ก๊าซคาร์บอนไดร์ออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนประกอบรอง มีสมบัติเป็นก๊าซเฉื่อยไม่ติดไฟ มีสัดส่วนอยู่ประมาณร้อยละ 28-33 และ ก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นต้น จะมีอยู่ประมาณร้อยละ 1-2

Components	Household waste	Wastewater treatment plants sludge	Agricultural wastes	Waste of agrifood industry
CH_4 % vol	50-60	60-75	60-75	68
CO_2 % vol	38-34	33-19	33-19	26
N_2 % vol	5-0	1-0	1-0	-
O_2 % vol	1-0	< 0,5	< 0,5	-
H_2O % vol	6 (@ 40 ° C)	6 (@ 40 ° C)	6 (@ 40 ° C)	6 (@ 40 ° C)
Total % vol	100	100	100	100
H_2S mg/m3	100 - 900	1000 - 4000	3000 – 10 000	400
NH_3 mg/m3	-	-	50 - 100	-
Aromatic mg/m^3	0 - 200	-	-	-
Organochlorinated or organofluorated mg/m^3	100-800	-	-	-

ตาราง 2.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ
อ้างอิงจาก Biogas Renewable Energy http://www.biogas-renewable-energy.info/biogas_composition.html

เมื่อองค์ประกอบต่าง ๆ ของการย่อยสลายสาอินทรีย์ครบถ้วน เช่น มีสารอินทรีย์ แบคทีเรีย อาหาร และสิ่งแวดล้อม ที่เหมาะสมแต่ไม่มีออกซิเจน กระบวนการสร้างก๊าซชีวภาพ ก็สามารถเกิดได้ตามธรรมชาติ โดยทันทีในธรรมชาตินั้น ก๊าซชีวภาพจะเกิดในบ่อที่มีการหมัก ก้นแม่น้ำ ทะเลสาบ ลำไส้คนและ สัตว์ ไร่นา ข้าวที่มีน้ำท่วมขัง ในเปลือกไม้ที่อับชื้น ใต้ท้องทะเลลึก เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเกิดในสภาวะที่กล่าวมาแล้ว ขั้นต้นนั้นเป็นกระบวนการที่เกิดในธรรมชาติ ซึ่งอัตราการสร้างก๊าซชีวภาพจะเร็วหรือช้านั้นถูกกำหนดโดย ธรรมชาติ แต่ในเชิงวิศวกรรมแล้ว วิศวกรจะสร้างระบบขึ้นมาเพื่อควบคุมสิ่งแวดล้อมต่างๆให้เหมาะสม ให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้รวดเร็ว ตามที่ต้องการ หรืออีกนัยหนึ่งคือ วิศวกรที่ออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ คือ ผู้ที่เข้าใจธรรมชาติของสารอินทรีย์ และสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของแบคทีเรียกลุ่มไม่ชอบออกซิเจน และทำการสร้างสภาวะดังกล่าว เพื่อให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้ตามที่วิศวกรนั้นๆต้องการ

ในการผลิตก๊าซชีวภาพเชิงอุตสาหกรรมวัตถุดิบที่ใช้ก็คือ สารอินทรีย์ (Organic Matter) ที่อยู่ในน้ำเสียหรือของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตรชุมชน และฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เช่น น้ำเสียที่ออกจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานน้ำตาล โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ โรงฆ่าสัตว์ ขยะชุมชนเฉพาะส่วนที่เป็นขยะอินทรีย์ ฟาร์มสุกร เป็นต้น โดยน้ำเสียหรือของเสียดังกล่าวจะถูกป้อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียหรือของเสีย ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์และได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลผลิตจากการบำบัด นอกจากนี้สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากก็จะเหลือกลายเป็นกากตะกอนอินทรีย์ ซึ่งจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงปุ๋ยอินทรีย์และสามารถนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงดินได้

ก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซมีเทนมากกว่าร้อยละ 50 เมื่อผสมอากาศมากกว่า 5-7 เท่า สามารถจุดไฟติดได้ที่อุณหภูมิประมาณ 600-700 องศาเซลเซียส และให้พลังงานความร้อน ดังนั้นก๊าซชีวภาพจึงสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน เพื่อทดแทนพลังงานอื่นๆ ได้ เช่น การเผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง เช่น ใช้กับเครื่องกกลูกสุกร และหม้อต้มไอน้ำ (Steam Boiler) การเผาเพื่อให้ความร้อนและใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น ใช้กับเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล และ การเผาเพื่อให้ความร้อนและใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น แต่เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีส่วนประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซที่ร่วมก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกที่ให้ผลรุนแรงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 25 เท่า[(2)] ดังนั้น หากปล่อยก๊าซชีวภาพทิ้งสู่บรรยากาศจะเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดภาวะเรือนกระจกหรือเร่งให้โลก มีอุณหภูมิสูงมากขึ้น

กระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ

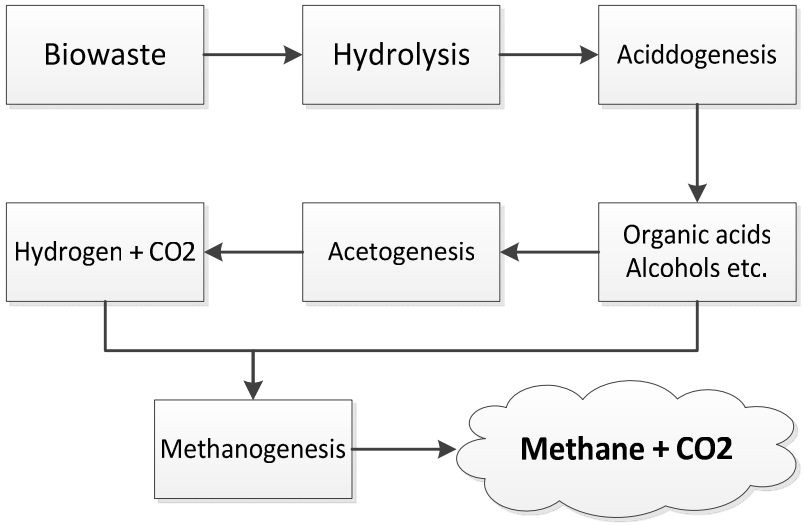
ขั้นตอนที่ 1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis) ขั้นตอนนี้ สารอินทรีย์ (เศษพืชผัก เนื้อสัตว์) ยังอยู่ในรูปโมเลกุลใหญ่ และมีองค์ประกอบสำคัญคือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ซึ่งสารอินทรีย์ ไม่สามารถจะย่อยสลายได้ทันที จำเป็นที่จะต้องมีการทำให้เกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กเสียก่อน โดยใช้แบคทีเรียกลุ่มแรก ซึ่งแบคทีเรียนี้จะปล่อยเอ็นไซม์เอกซ์ตราเซลลูลาร์ (extra cellular enzyme) มาช่วยละลายโครงสร้างโมเลกุลอันซับซ้อนให้แตกลงเป็นโมเลกุลเชิงเดี่ยว (monomer) เช่นการย่อยสลายแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส การย่อยสลายไขมันเป็นกรดไขมันและการย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน แบคทีเรียกลุ่มนี้จะได้รับสารอาหารบางชนิดจากสารอินทรีย์ผ่านการดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรด (Acidification/ Acidogenesis) แบคทีเรียอีกกลุ่มจะทำการย่อยสลายโมเลกุลที่แตกตัวแล้วจากขั้นตอนแรกให้เป็นกรดอินทรีย์ (Organic Acid) เช่น กรดคาร์บอน แอลกอฮอลล์ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไฮโดรเจน ซึ่งได้แก่ Acetic Acid, น้ำ (H_2O) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นต้น ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลัก ในการผลิตมีเทน แบคทีเรียทีกลุ่มนี้เรียกว่า Acid Forming Bacteria เป็นแบคทีเรียที่อยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis) เปลี่ยนกรดอินทรีย์เป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเทตซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลัก ในการผลิตมีเทน

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างก๊าซมีเทน (Methanization/Methanogenesis) ในขั้นตอนนี้แบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งเรียกว่า Methanogens หรือ Methane Forming Bacteria จะทำการเปลี่ยน Acetic Acid และไฮโดรเจน (H) เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียพวกนี้เป็นชนิดที่ต้องอยู่ในสภาพที่ไร้ออกซิเจนจริง ๆ (Obligate Anaerobic Bacteria) ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของ Acetic Acid จากปฏิกิริยาก่อนหน้านี้

จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจะต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียหลายๆ กลุ่มดังที่กล่าวมาแล้ว โดยความสามารถในการย่อยสลายของแต่ละกลุ่มก็จะมีผลซึ่งกันและกัน และมีผลต่อความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพ



รูป 2.1 Flowchart แสดงกระบวนการย่อยในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Digestion)
Evans G, Biowaste and Biological waste treatment 2001

การปรับปรุงคุณภาพก๊าซก่อนนำไปใช้งาน (Gas Purification)

ก๊าซชีวภาพส่วนมากจะมีความชื้นสูงเกือบถึงจุดอิ่มตัว รวมทั้งมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งเป็นก๊าซพิษ ทั้งต่อมนุษย์ สิ่งแวดล้อม และ เครื่องยนต์ ดั้งนั้นเพื่อให้อุปกรณ์ในระบบตรวจวัดและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เป็นโลหะ มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพก๊าซก่อนนำไปใช้งาน

การลดความชื้นและดักน้ำในระบบส่งก๊าซ

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มักจะมีความชื้นสูงจนถึงจุดอ่มตัวและมีอุณหภูมิสูง โดยเมื่อก๊าซชีวภาพไหลผ่านท่อส่งก๊าซที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า มันจะทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ และสะสมจนขัดขาวางการส่งก๊าซทางท่อได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องลดความชื้นหรือติดตั้งชุดดักน้ำก่อนนำก๊าซชีวิภาพไปใช้งาน

การลดปริมาณก๊าซคอร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

การลดปริมาณก๊าซคอร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะต้องกระทำเมื่อ ก๊าซชีวภาพผลิตได้มีค่ามีเทน (CH4) น้อยกว่า 45 เปอร์เซ็นต์ ซึงเป็นระดับที่ต่ำมาก จนอยู่ในระดับที่จุดไฟติดยาก

การลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นกาซที่ปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นก๊าซพิษ โดยเมื่อไฮโดรเจนซัลไฟล์ได้สัมพัสกับน้ำ จะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดซัลฟูริค (H_2S) ซึ่งเป็นเหตุที่ทำให้เกิดฝนกรดถ้าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกปล่อยออกไปในอากาศ หรือหากมีอัตราก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปล่อยเข้าไปสู่ระบบเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ก็จะทำให้ไอกรดกัดกร่อยโลหะและวัสดุอุปรกรณ์ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อจะเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม และจะช่วยยืดอายุการใช้งานเครื่องยนต์และอุปกรณ์ในระบบก๊าซด้วย

ศักยภาพก๊าซชีวภาพรวมทั้งประเทศ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งมีแหล่งวัตถุดิบมากมายไม่ว่าจะเป็น มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน น้ำตาล และฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โดยกระบวนการแปรรูปเหล่านี้จะให้น้ำเสียจำนวนมากและมีกลิ่นเหม็น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจึงเป็นมีทางเลือกหนึ่งและยังให้ผลผลิตที่เป็นก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้อีก อย่างไรก็ตาม ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติและปริมาณของน้ำเสีย แสดงดังตาราง 2.2

Source of Wastewater	Flour Mill	Palm Oil Mill	Pig Farm	Sugar Mill	Ethanol
	ton of flour	ton of FFB	No. of pig	ton of sugar cane	m^3
Production, million unit / year	0.70	6.39	9.30	64.40	191.75
Wastewater, m^3/unit of Production	15.00	0.40	9.86	0.11	10.00
Total wastewater, Million m^3/ year	10.50	2.56	91.70	7.08	1917.50
Biogas m^3/ m^3waste water	10.00	35.00	3.50	7.00	35.00
Total Biogas, million m^3/ year	105.00	89.46	320.94	49.59	67112.50

ตาราง 2.2 ข้อมูลศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งประเทศในปี 2550

หมายเหตุ : ข้อมูลอ้างอิง มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม
http://www.efe.or.th/home.php?ds=preview&back=content&mid=cMS7s93gtBdrFxPI&doc=Nh0QAq2EHRts4jwU

เซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซ

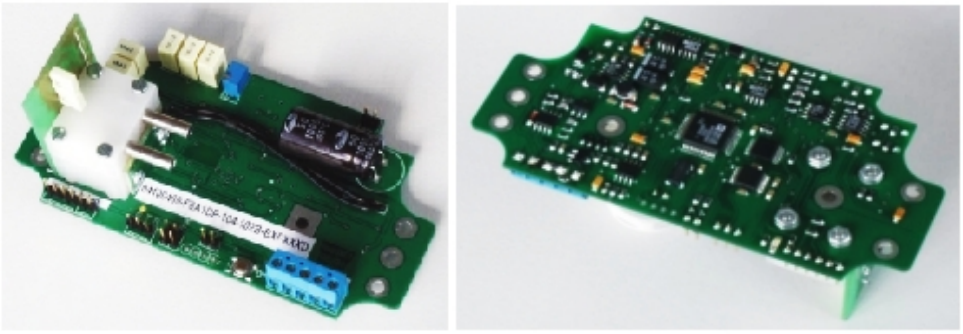
อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซด้วยแสงอินฟราเรด (Infrared Gas Sensor)

ก๊าซจำนวนมากมีแถบการดูดกลืนแสงในย่ายอินฟราเรด ซึ่งหลักการของการดูดกลืนอินฟราเรดถูกใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการเป็นเวลาหลายปี ตั้งแต่ทศวรรษที่ 1980 แต่ความก้าวหน้าอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ทางแสง ทำให้สามารถออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดด้วยหลักการดังกล่างให้มีขนาดเล็กลง และใช้พลังงานต่ำ

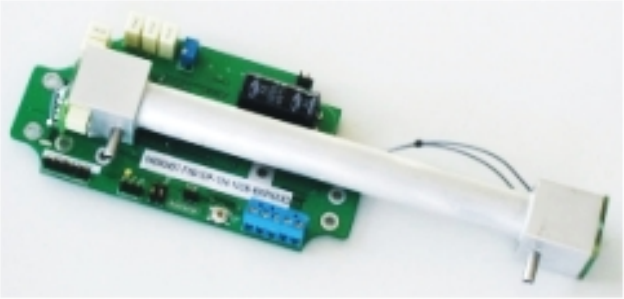
เซ็นเซอร์เหล่านี้มีข้อได้เปรียบหลายอย่างเมื่อเทียบกับเซ็นเซอร์แบบ catalyst เช่น มีความเร็วในการตอบสนองสูง (ปกติจะน้อยกว่า 10 วินาที), การบำรุงรักษาต่ำ และสามารถใช้ microprocessor ในการตรวจสอบการทำงานของระบบ รวมถึง เซ็นเซอร์แบบอินฟราเรด สามารถออกแบบให้ทนต่อสารพิษต่าง ๆ และรองรับการทำ failsafe อีกทั้ง สามารถทำงานได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันในช่วงกว้าง และที่มีความชื้นสูง

เทคนิคการดำเนินงานบนหลักการของการดูดซึมคลื่นแบบ dual wavelength จะใช้หลักการให้แสงวิ่งผ่านส่วนผสมตัวอย่าง ด้วยสองความยาวคลื่น โดยความยาวคลื่นหนึ่ง ถูกเลือกจากจุดสูงสุดการดูดซึมของก๊าซที่จะตรวจพบ และอีกความยาวคลื่นหนึง จะไม่ถูกดูดซึม โดยแสงทั้งสองจะสลับส่งผ่านก๊าซที่ทำการวัด แล้วลำแสงจะสะท้อนกลับมาอีกครั้งโดย retro-reflector อีกครั้งผ่านก๊าซที่ทำการวัดกลับมายังตัวรับ แล้วเครื่องตรวจจับจะทำการเปรียบเทียบความเข้มของลำแสงกับและค่าลำแสงอ้างอิง ซึ่งสามารถวัดความเข้มข้นของก๊าซที่ทำการวัดได้

เครื่องตรวจวัดประเภทนี้สามารถตรวจจับโมเลกุลก๊าซ diatomic และดังนั้นจึงไม่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบของไฮโดรเจน



รูป 2.2 ตัวอย่าง CO_2 Infrared Sensor

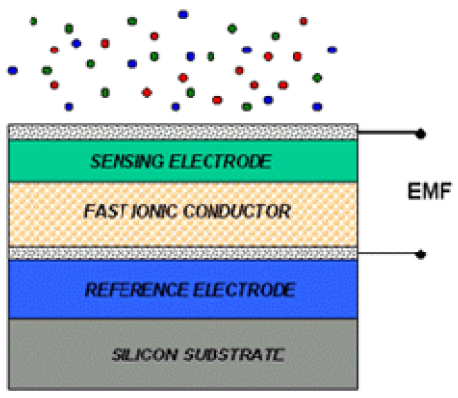


รูป 2.3 ตัวอย่าง CH_4 Infrared Sensor

อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซแบบไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Sensor)

เซนเซอร์ไฟฟ้าเคมีแบบเฉพาะประเภทก๊าซ (Gas specific electrochemical sensors) สามารถใช้ตรวจสอบก๊าซพิษส่วนใหญ่เพื่อใช้งานทางด้านความปลอดภัย โดยก๊าซพิษที่สามารถใช้เซนเซอร์ตรวจสอบได้ประกอบด้วย CO, H2S, Cl2, SO2 เป็นต้น

เซนเซอร์ไฟฟ้าเคมีมีขนาดกะทัดรัด และใช้พลังงานน้อยมาก รวมถึงให้ผลการวัดเป็นเส้นตรงที่ดีเยี่ยม และมีอายุการใช้งานประมาณ 1-3 ปี เวลาการตอบสนองเมื่อค่าถึง 90% ของค่าจริง (T90) จะใช้เวลาประมาณ 30-60 วินาที ซึ่งความเข้มข้นของก๊าซตัวอย่างที่จะตรวจวัดต่ำสุดมีช่วงตั้งแต่ 0.02 ถึง 50ppm ขึ้นอยู่กับประเภทของก๊าซ

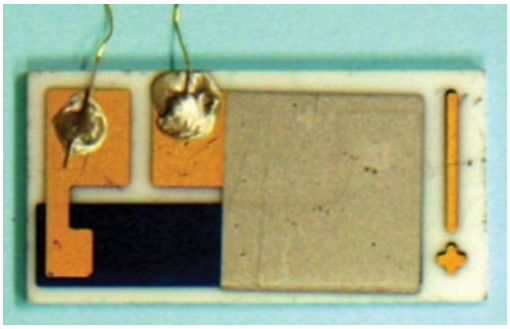


http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/0010/Ivanov/fig6.gif

รูป 2.4 องค์ประกอบของเซนเซอร์แบบไฟฟ้าเคมี

การวัดก๊าซเฉพาะชนิดสามารทำได้โดยการ เลือกใช้ catalyst กับ electrolyte ตามประเภทของก๊าซนั้น ๆ หรือ ใช้ filters เพื่อดูดซับหรือตอบสนองกับก๊าซ

เซนเซอร์ไฟฟ้าเคมีมักจะมีการรับประกัน 2 ปี แต่อายุการใช้งานจริงสามารถใช้งานได้นานกว่า 2 ปี ยกเว้นนี้ ออกซิเจน แอมโมเนียและไฮโดรเจนไซยาไนด์เซ็นเซอร์ ซึ่งส่วนประกอบของเซลล์ที่มีการสูญเสียจากกลไกการเกิดปฏิกิริยาเพื่อการตรวจวัด



Shin W, Imai K, Izu N, Murayama N, "Thermoelectric Thick-Film Hydrogen Gas Sensor Operating at Room Temperature", Jpn. J. Appl. Phys. Part2 Vol 40 (11B) L1232-L1234 (2001).

รูป 2.5 ตัวอย่าง H2 gas sensor

Information: SO2-BF Sulfur Dioxide Sensor

1) Sensitivity: 300 to 440 nA/ppm in 20ppm SO2
2) Response time: < 30S from zero to 20ppm SO2
3) Zero current: < +/-0.5 ppm equivalent in zero air
4) Resolution: < 0.1 RMS noise (ppm equivalent)
5) Range: 100 ppm limit of performance warranty
6) Linearity: < +/-2 ppm error at full scale, linear at zero and 20ppm
7) Overgas range: 500 maximum ppm for stable response to gas pulse
8) Operating life: > 24 months until 80% original signal (24 month warranted)

http://www.apollounion.com/en/p-SO2-BF-Sulfur-Dioxide-Sensor-149.html

รูป 2.6 ตัวอย่าง SO_2 Electrochemical Sensor

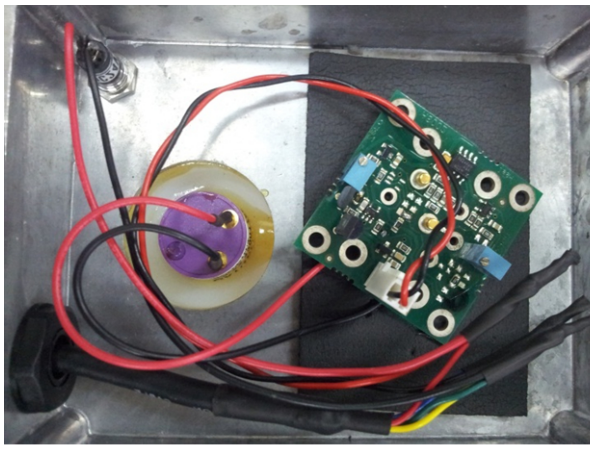
3. การดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

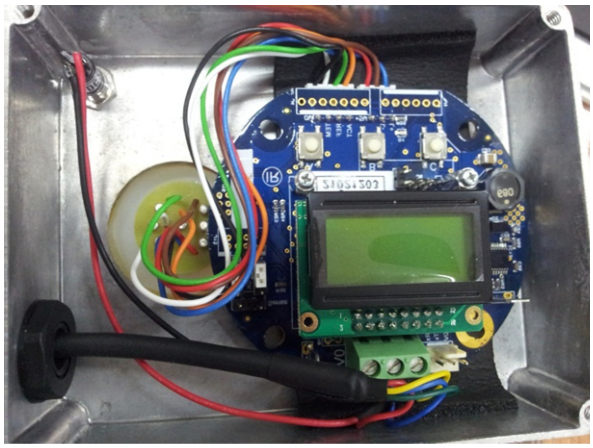
1. ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับระบบตรวจวัดก๊าซชีวภาพที่มีจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศในปัจจุบัน
2. ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับระบบปรับคุณภาพก๊าซชีวภาพก่อนป้อนเข้าสู่ระบบตรวจวัด
3. เปรียบเทียบคุณสมบัติ ความเหมาะสม และเลือกระบบตรวจวัด สำหรับใช้งานสำหรับกลุ่มโรงงานเป้าหมาย
4. ติดตั้งระบบ ในโรงงานเขตภาคใต้ จำนวน 2 โรงงาน
5. วัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพและความเสถียรภาพ ของระบบที่พัฒนาขึ้น
6. จัดทำข้อมูลประกอบเพื่อเพยแพร่และประชาสัมพันธ์โครงการวิจัยให้กลุ่มโรงงานและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
7. จัดทำรายฉบับสมบูรณ์เพื่อรายงานผลการวิจัย

เซ็นเซอร์และระบบตรวจวัดคุณภาพก๊าซ

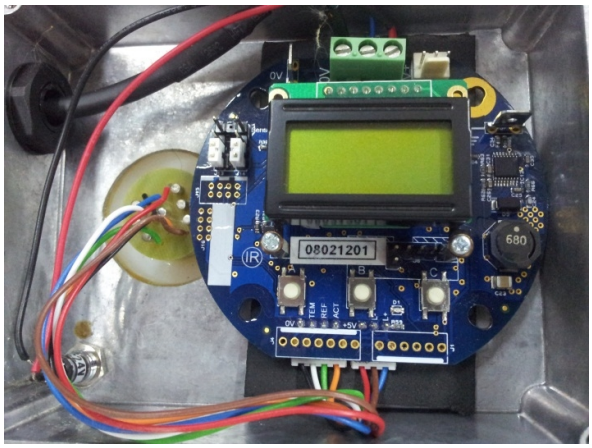
ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้เลือก sensor เพื่อทำการวัดและบันทึก ปริมาณ มีเทน (CH_4) ออกซิเจน (O_2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ ไฮโดรเจนซัลไฟล์ (H_2S) เนื่องจากก๊าซดังกล่าวเป็นส่วนประกอบสำคัญในการใช้งานก๊าซชีวิภาพ เพื่องานอุตสหกรรม โดยเลือกใช้ sensor ประเภท Electrochemical Sensor เนื่องจากมีราคาไม่สูงมากนัก เหมาะสมกับโรงงานที่มีงบประมาณไม่สูงมาก อีกทั้งมีประสิทธิภาพการใช้งานได้ดี ทนต่อความชื้น และ มีอายุการใช้งานเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม (โดยประมาณ 2 ปี) ซึ่งมีข้อเสียคือมีความเร็วในการตอบสนองช้า โดยการวัด T90 ใช้เวลาประมาณ 25 – 60 วินาที ซึ่งความเร็วดังกล่าวเพียงพอสำหรับการใช้งาน ในการบันทึกแบบต่อเนื่อง



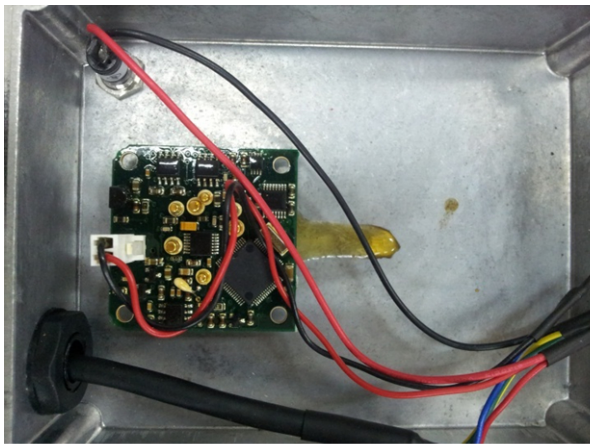
รูป 3.1 Oxygen sensor (0-25%)



รูป 3.2 CO_2 sensor (0-100%)

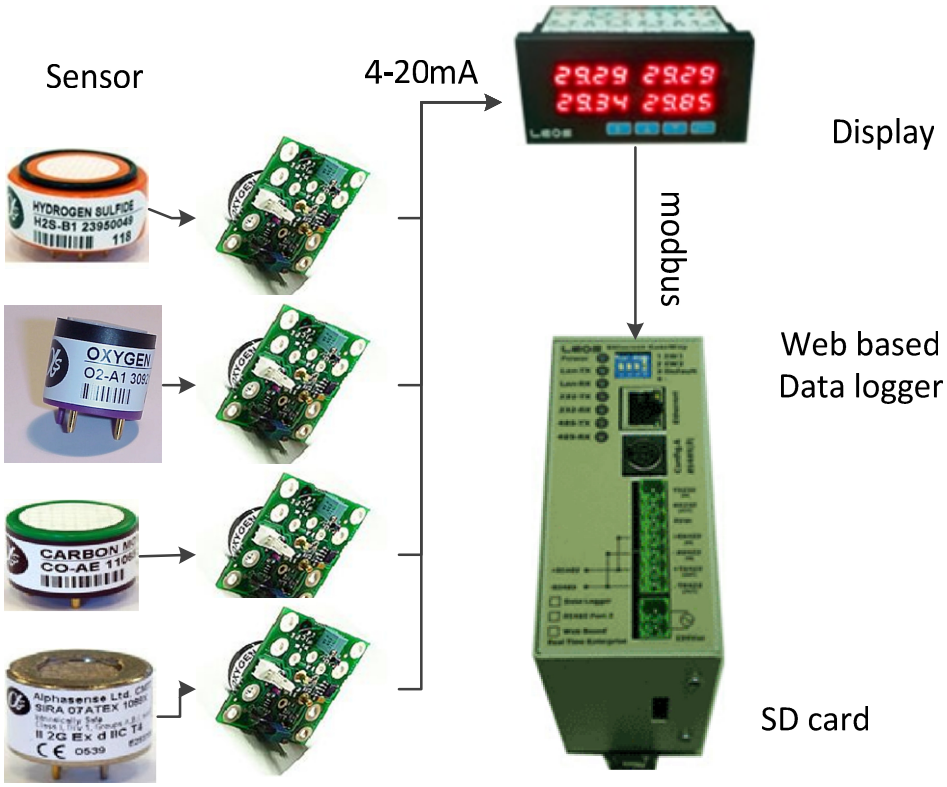


รูป 3.3 CH_4 sensor (0-100%)



รูป 3.4 H_2S sensor (0-2000ppm)

โดย sensor ทั้ง 4 ตัวทำงานแบบ 4-20mA current loop เชื่อมต่อกับชุดแสดงผลแบบ digital ขนาด 4 หลัก แล้วสุ่มบันทึกข้อมูลทุก ๆ 10 วินาที ลงใน SD card บนเครื่องบันทึกข้อมูลแบบ Web based data logger ซึ่งสามารถอ่านผลการบันทึกผ่านระบบเครือข่ายได้ โดยมีรูปแบบการเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 3.5



รูป 3.5 การเชื่อมต่อระหว่าง Sensor modules กับ ภาคแสดงผล และ ภาคบันทึกข้อมูล

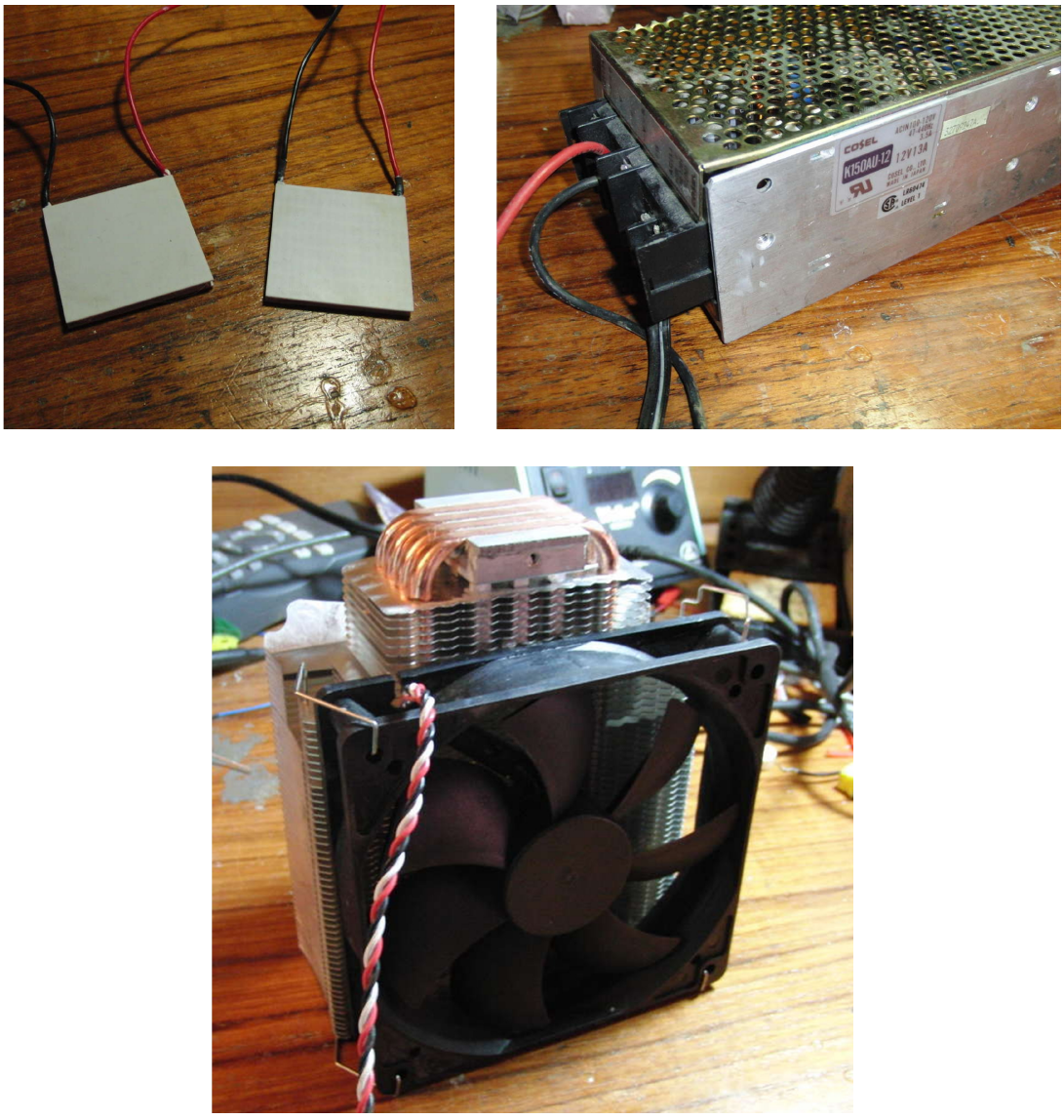
การปรับปรุงคุณภาพก๊าซก่อนเข้าระบบตรวจวัด (Gas purification)

เนื่องจาก Biogas มีความชื้นสูง จึงควรลดความชื้นของก๊าซเพื่อป้องกันการกลั่นตัวของก๊าซ ซึ่งอาจทำให้ระบบตรวจวัดเสียหายได้ โดยการลดความชื้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการควบแน่นด้วยความเย็น การให้ความร้อน การดูดซับความชื้น

โดยในงานวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ทดลอง 2 วิธีคือ การควบแน่นด้วยความเย็นโดยใช้ Pelteir และการดูดซับความชื้นด้วย silica gel เพื่อทดลองหาวิธีการที่ง่ายและเหมาะสม

การลดความชื้นด้วยการควบแน่นด้วยความเย็น

ในการทดลองนี้อาศัยหลักการควบแน่นของก๊าซโดยปล่อยให้ก๊าซที่มีความชื้นและอุณหภูมิสูง ไหลผ่านชุดทำความเย็น โดยใช้ Peltier Thermoelectric ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่สามารถแปลงไฟฟ้าเป็นอุณหภูมิ และสามารถแปลงอุณภูมิกลับเป็นไฟฟ้าได้ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสองด้าน โดยความแตกต่างขึ้นอยู่กับขนาดของกำลังงานที่ป้อนให้กับอุปกรณ์ โดยในการทดลอง ใช้ Peltier ขนาด 136W โดยใช้ภาคจ่ายไฟขนาด 12V 13A



รูป 3.6 การทดลองลดความชื้นด้วย Peltier Thermoelectric

ซึ่งผลการทดลองโดยการป้อนอากาศที่มีความชื้นสูงโดยการเป่าลมผ่านแผ่นกรองที่แช่น้ำที่คุมอุณหภูมิไว้ที่ 40’C นั้น อุปกรณ์สามารถทำให้มีอุณหภูมิด้านเย็นอยู่ที่ประมาณ 13’C ซึ่งเพียงพอให้เกิดการควบแน่นได้ ส่วนในการใช้งานจริงจำเป็นต้องทำการควบคุมอุณหภูมิภายในกล่องเพื่อให้เกิดอัตราการควบแน่นที่เหมาะสม รวมถึงต้องใช้ pump จำพวก Perlistic pump หรือ diaphragm pump เพื่อนำน้ำที่กลั่นตัวออกจากระบบ และป้องกันไม่ให้ก๊าซรั่วออกมาจากระบบในขณะไม่ได้ทำการระบายน้ำ

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/04/Peristaltic_pump_head.jpg

รูป 3.7 ตัวอย่าง Perlistic pump

Micro diaphragm pump for gas sampling
max. 3.0 lpm, max. 12 psi | T2-03 series

รูป 3.8 ตัวอย่าง Micro diaphragm pump

การลดความชื้นด้วยดูดซับความชื้นด้วย silica gel

Silica gel ถูกนำไปใช้ในการควบคุมความชื้น เนื่องจากมีราคาถูกและใช้งานได้ง่าย (กิโลกรัมละ 150-200 บาท) โดยในการวิจัยนี้ได้นำ Silica gel มาบรรจุในภาชนะทรงกระบอกแล้วปล่อยให้ก๊าซไหลผ่านเพื่อดูดความชื้นออกจากก๊าซก่อนนำเข้าสู่ระบบ

รูป 3.9 Silica gel ขนาด 500g

การลดปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนมากที่สุดใน Biogas ซึ่งอาจจะมีปริมาณสูงกว่า 1000 ppm ซึ่งการลดปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นการยืดอายุอุปกรณ์ตรวจวัดและส่วนประกอบอื่น ๆ ภายในระบบ ซึ่งกระบวนการลดปริมาณไฮดรเจนซัลไฟด์ (H_2S Scrubber) สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1. Bio-Scrubber โดยใช้ แบคทีเรียประเภท Ferrooxidans microorganisms
2. Wet Scrubber โดยการพ่นละอองน้ำในขณะที่ให้ก๊าซไหลผ่าน โดยมีโลหะฝอยรองอยู่ด้านล่าง
3. Ferric Oxide Desulfurizer (Fe_2O_3) โดย $Fe_2O_3.XH_2O+3H_2S==Fe_2S_3.XH_2O+3H_2O$

http://www.gesodorcontrol.com/bioscrubber.html

รูป 3.10 องค์ประกอบชอง Bio Scrubber และตัวอย่าง Bio Scrubber

ในการวิจัยนี้ ได้เลือกใช้ Ferric Oxide Desulferizer (coal based) ที่มีคุณสมบัติตาม ตาราง 3.1 โดยมีราคาอยู่ประมาณ 200-300 บาท ต่อ กิโลกรัม โดยมีสีน้ำตาลเข้ม และจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวออกคล้ำ เมื่อทำปฏิกิริยากับ H_2S และจำเป็นต้องเปลี่ยนใหม่เมื่อเปลี่ยนเป็นสีดังกล่าวทั้งหมด

รูป 3.11 Ferric Oxide Desulferizer (coal based)

ตาราง 3.1 คุณสมบัติของ Ferric Oxide Desulferizer (coal based) ที่ใช้ในงานวิจัย

Physical Property	Appearance	Brownish red extrudates
	Diameter, mm	5~6
	Length, mm	5~15
	Bulk density, kg/L	0.7~0.8
	Crushing strength, N/cm	side pressure≥50
	Water tolerance	not pulverization in the water
	Porosity, %	40~50
Performance Index	H2S: 200-2000 mg/m3 in gas	Outlet H2S ≤ 20 mg/m3, the desulfurization rate > 90%; total sulfur capacity of work≥40% (weight)
	H2S < 20 mg/m^3 in gas	Outlet H2S ≤ 1 mg / m^3, total sulfur capacity of work ≥ 30% (weight)

กระบอกบรรจุ Silica gel และ Ferric Oxide

งานวิจัยนี้เลือกใช้กระบอกสำหรับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำสำหรับบรรจุ Silica gel และ Ferric Oxide เพื่อปรับปรุงคุณภาพก๊าซก่อนป้อนเข้าสู่ระบบตรวจวัด

รูป 3.12 Thermaltake® SR100 Liquid Cooling Water Reservoir

รูป 3.13 การบรรจุ Silica gel เพื่อลดความชื้น (ชั้นบน) และ Fourus Oxide เพื่อลดปริมาณ H_2S (ชั้นล่าง)

ในการวิจัยนี้ ได้ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซเพื่อเข้าสู่ชุดตรวจวัด ที่อัตรา 0.8 - 1.0 l/min โดยตั้งเวลาให้วัด Biogas ต่อเนื่องเป็นเวลา 50 นาที แล้วล้างระบบเซนเซอร์ด้วย ambient air เป็นเวลา 10 นาที เพื่อยืดอายุการใช้งานเซนเซอร์

รูป 3.14 Dwyer® Air flow regulator

รูป 3.15 การต่อ Diaphragm Pump, Gas Treatment, Sensors, Timer, และ Power Supply

รูป 3.16 ระบบตรวจวัด ระบบแสดงผล และระบบบันทึกผล

การติดตั้งระบบตรวจวัดนาภาพแวดล้อมจริง

โครงการวิจัยนี้มีเป้าหมายใน ได้ทดลองตรวจวัดก๊าซใน 2 โรงงาน โดยเลือกจากประเภทและขนาดของสถานประกอบการ โดย

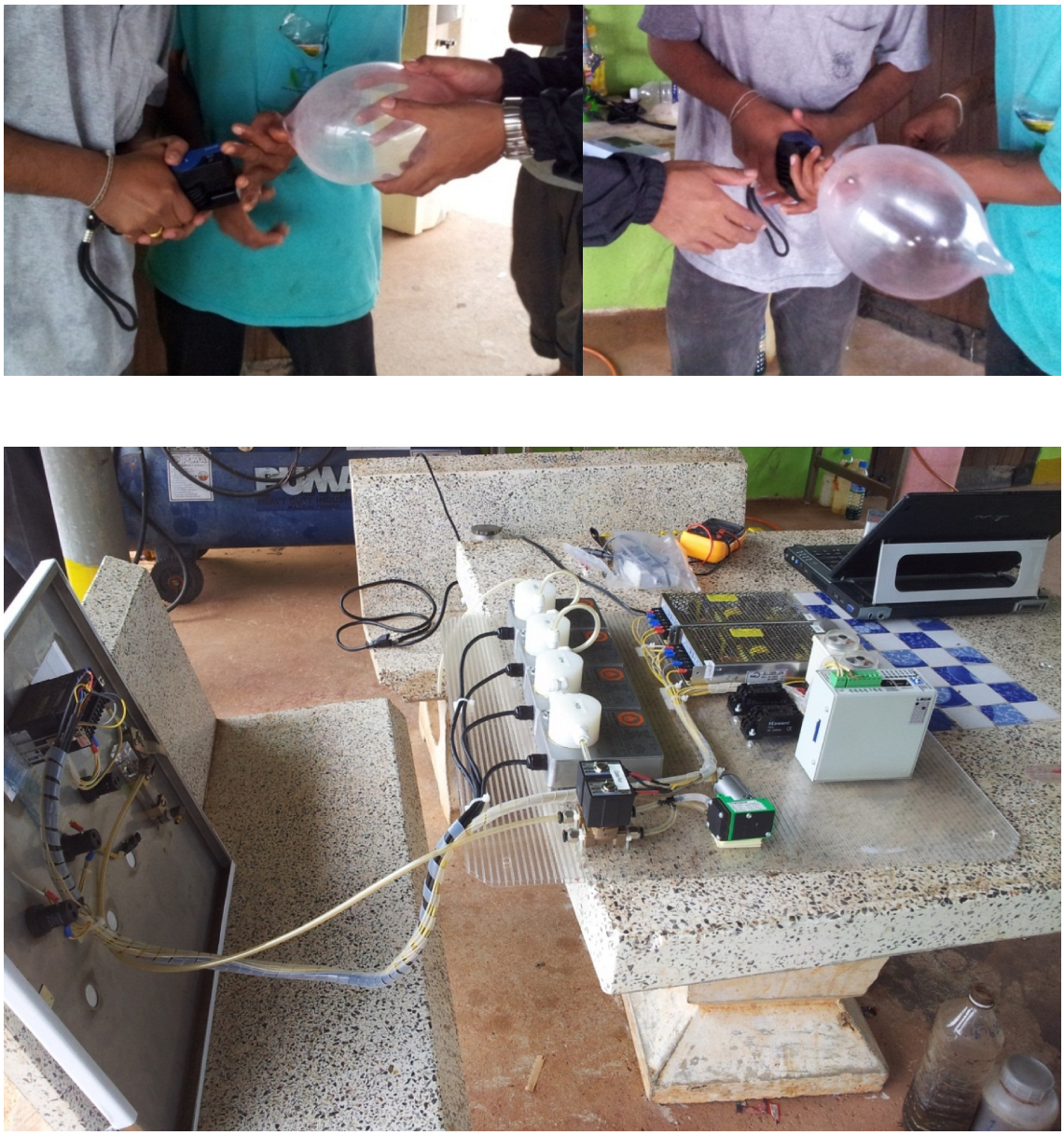
1. บริษัท A (ชื่อสมมุติ) เป็นโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ที่มีกำลังการผลิต 45 ตันผลปาล์มสดต่อชั่วโมง โดยได้ใช้น้ำเสียจากกระบวนการผลิตนำมาผลิต biogas เพื่อผลิตไฟฟ้าใช้ภายในโรงงานและขายคืนสู่ชุมชน โดยมีกำลังการผลิตก๊าซมากกว่า 1000 Cubic Gas / Day
2. บริษัท B (ชื่อสมมุติ) เป็นโรงเลี้ยงสุกรระบบปิด มีจำนวนสุกรมากกว่า 5000 ตัว โดยนำน้ำเสียและมูลสุกร บำบัดในบ่อหมัก เพื่อผลิต biogas สำหรับใช้ผลิตไฟฟ้า

การติดตั้งบริษัท A โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม

รูป 3.17 การติดตั้งเครื่องที่บริษัท A โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม

CO2 0-100% vol.
CH4 0-100% vol.
Analog 4 Channel
CH1
CH2
CH3
CH4
LEOS
O2 0-25% vol.
H2S 0-2000ppm
POWER
GAS
AIR
cc/min
AIR
X 100
10
8
6
4
2
Flow rate

การปรับเทียบค่าของระบบที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน



รูป 3.18 การปรับเทียบค่าผลการวัดของระบบที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน

การปรับเทียบค่าของระบบที่พัฒนาขึ้นกับก๊าซมาตรฐาน

รูป 3.19 การปรับเทียบค่าของระบบที่พัฒนาขึ้นกับก๊าซมาตรฐาน

การติดตั้งบริษัท B โรงเลี้ยงสุกร

รูป 3.20 การติดตั้งเครื่องที่บริษัท B โรงเลี้ยงสุกร

รูป 3.21 การต่อ sampling gas เข้าเครื่องวัด ที่บริษัท B

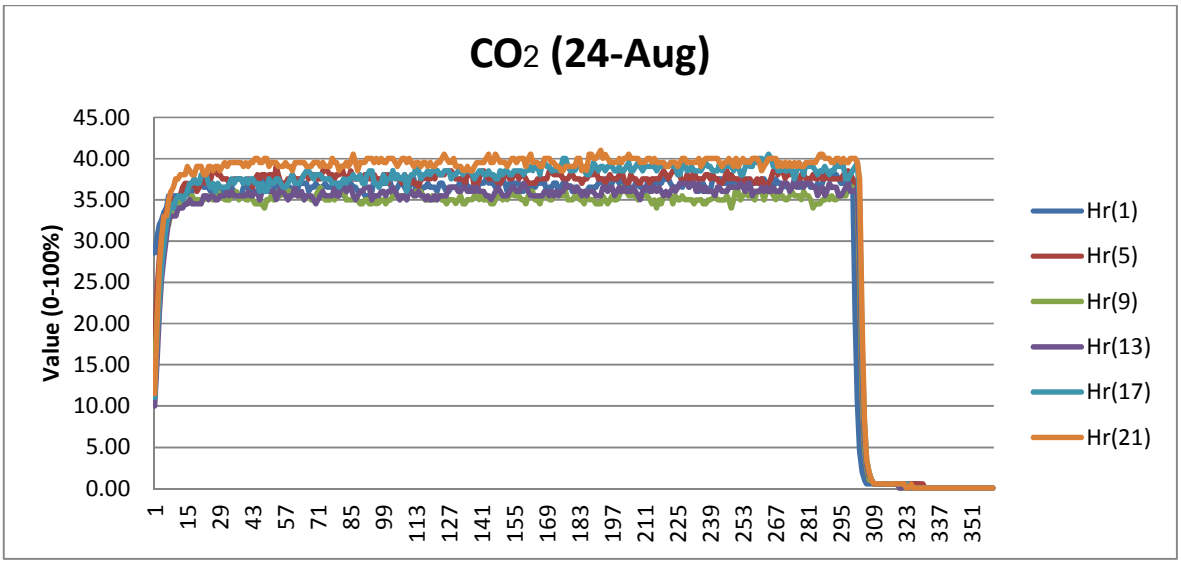
4. ผลการตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซ

ระบบใช้ Industrial dial timer เพื่อความสะดวกต่อผู้ใช้งาน โดยตั้งเวลาให้บันทึกค่าก๊าซต่อเนื่อง โดยสุ่มบันทึกทุก ๆ 10 วินาที เป็นเวลาประมาณ 50 นาที (ประมาณ 300 samples) แล้วล้างชุดวัดก๊าซด้วยการใช้ ambient air ปล่อยผ่านชุดวัดก๊าซ (air purge) เป็นเวลา 10 นาที (ประมาณ 60 samples)

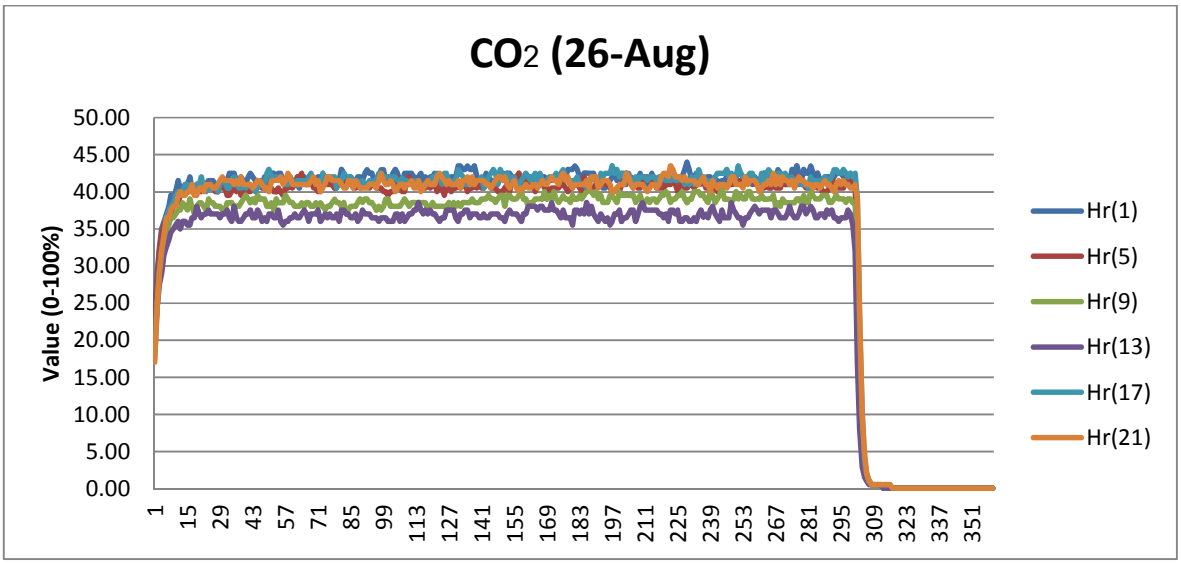
ระบบการแสดงผลในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ 7-segments ขนาด 4 หลัก เพื่อแยกการแสดงผลค่าก๊าซแต่ละชนิดเพื่อให้ง่ายต่อการอ่านค่า โดยรับค่าจาก sensors แบบ 4-20mA current loop แล้วแสดงผลในเวลาจริง (Real time) และส่งค่าดังกล่าวผ่าน mod bus เพื่อใช้บันทึกค่าลง SD card ของ web based data logger โดยสุ่มบันทึกทุก 10 วินาที (0.1 sample/sec)

ผลการตรวจวัดได้นำเสนอแบบแยกประเภทก๊าซ ตามช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน โดยแกน X เป็น sampling number และแกน Y เป็นค่าความเข้มข้นของก๊าซ

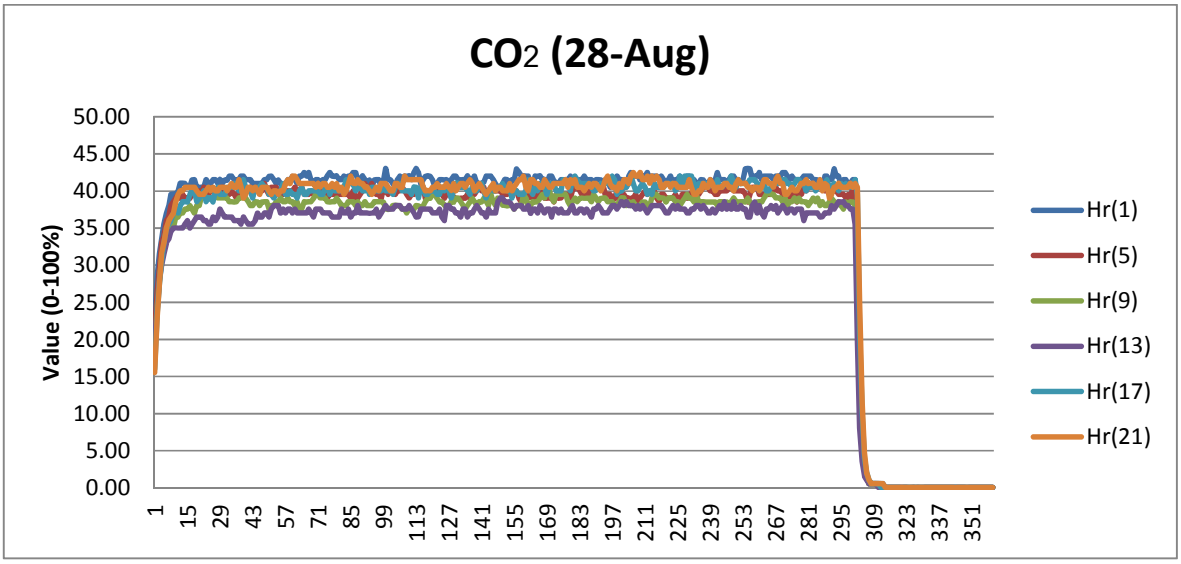
กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม ทุก 4 ชม.



รูป 4.1 กราฟแสดงค่าปริมาณ CO_2 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 24 ส.ค.

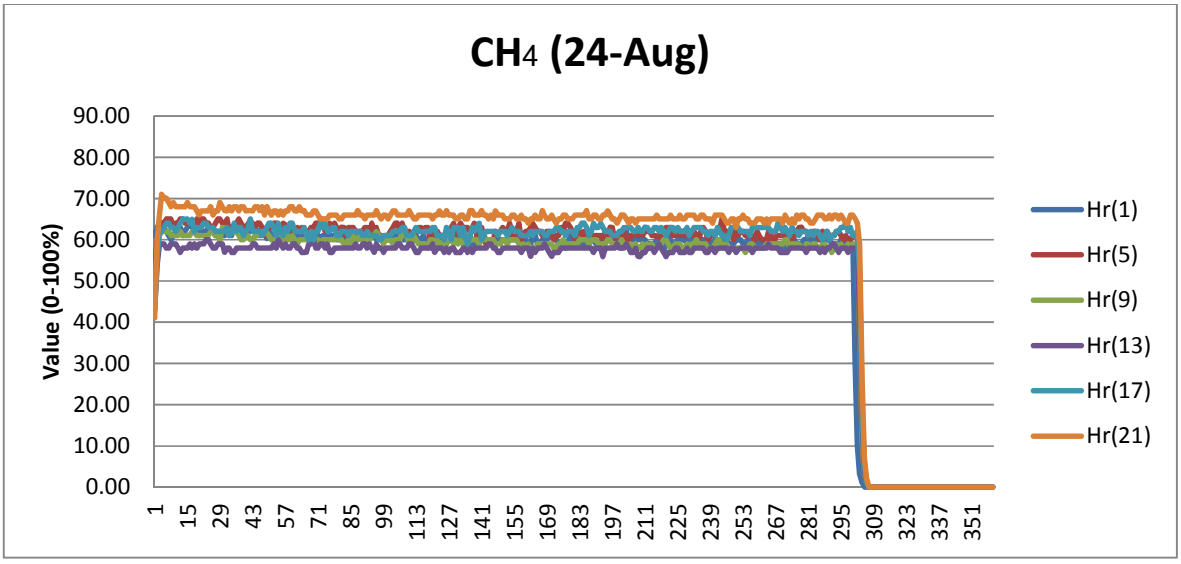


รูป 4.2 กราฟแสดงค่าปริมาณ CO_2 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 26 ส.ค.

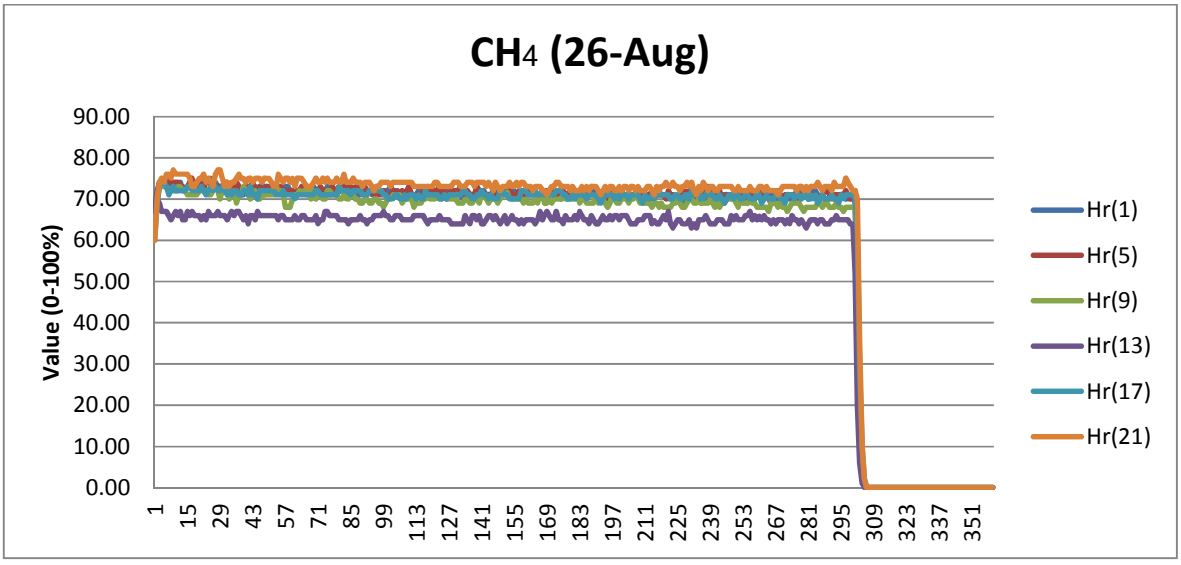


รูป 4.3 กราฟแสดงค่าปริมาณ CO_2 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 28 ส.ค.

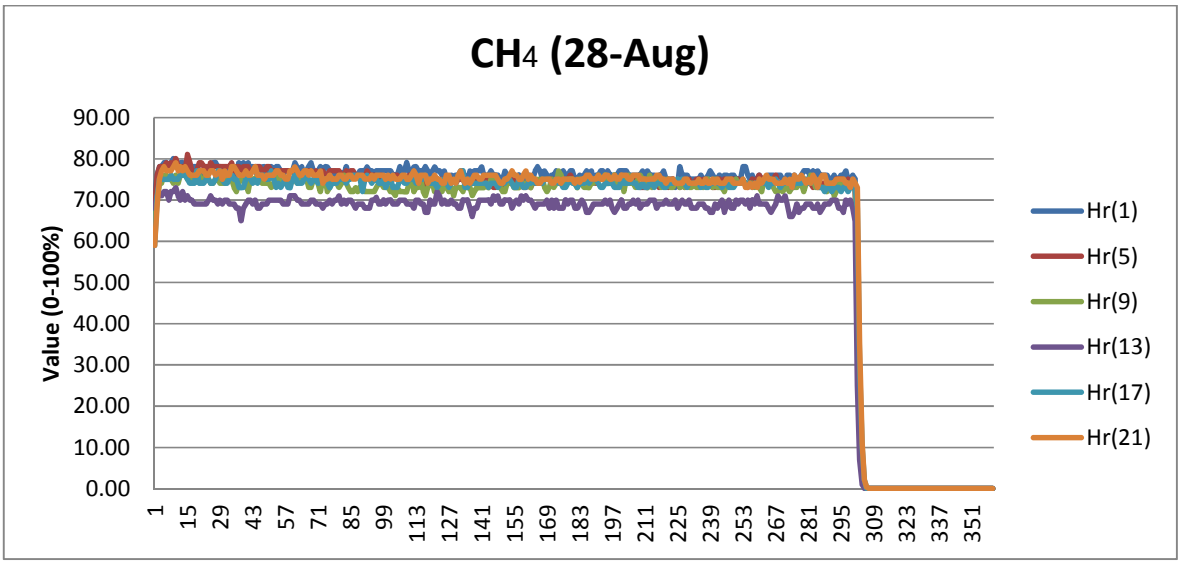
กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม ทุก 4ชม.



รูป 4.4 กราฟแสดงค่าปริมาณ CH_4 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 24 ส.ค.

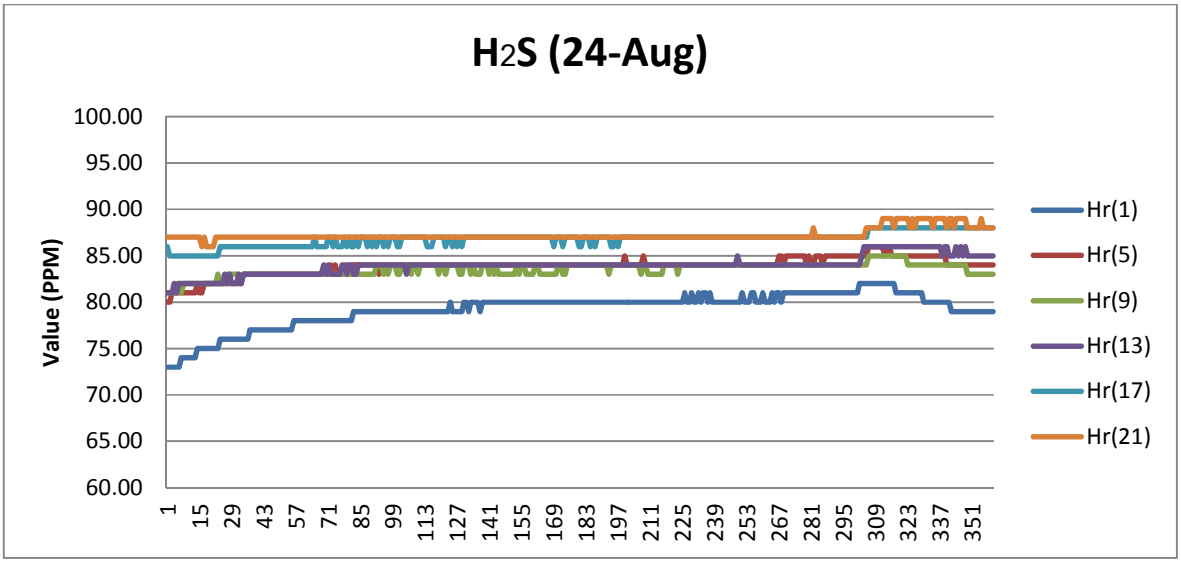


รูป 4.5 กราฟแสดงค่าปริมาณ CH_4 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 26 ส.ค.

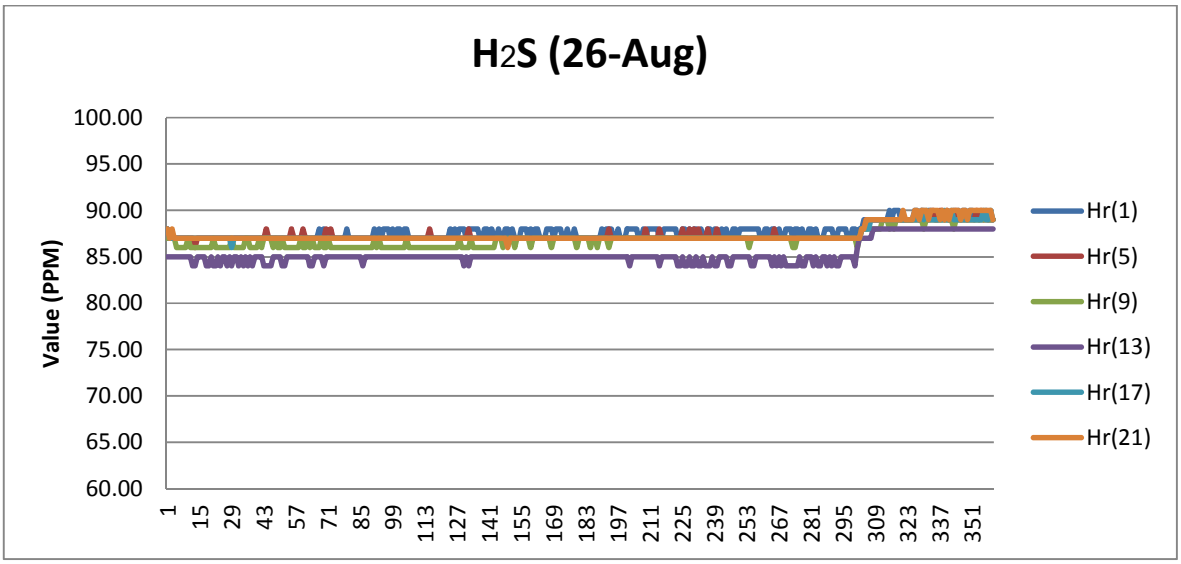


รูป 4.6 กราฟแสดงค่าปริมาณ CH_4 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 28 ส.ค.

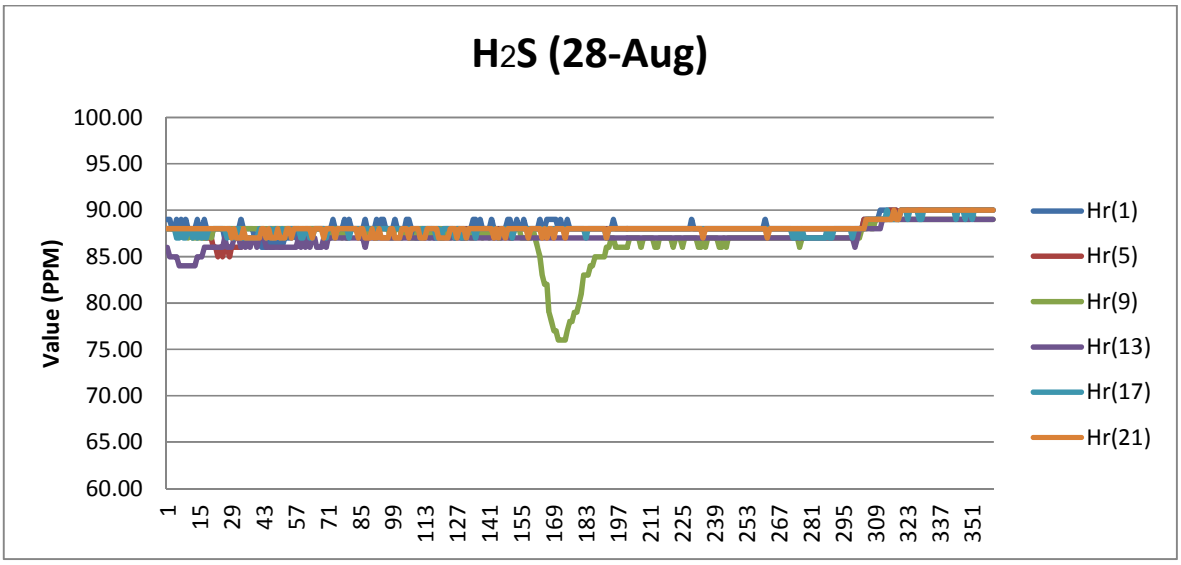
กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม ทุก 4ชม.



รูป 4.7 กราฟแสดงค่าปริมาณ H_2S ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 24 ส.ค.

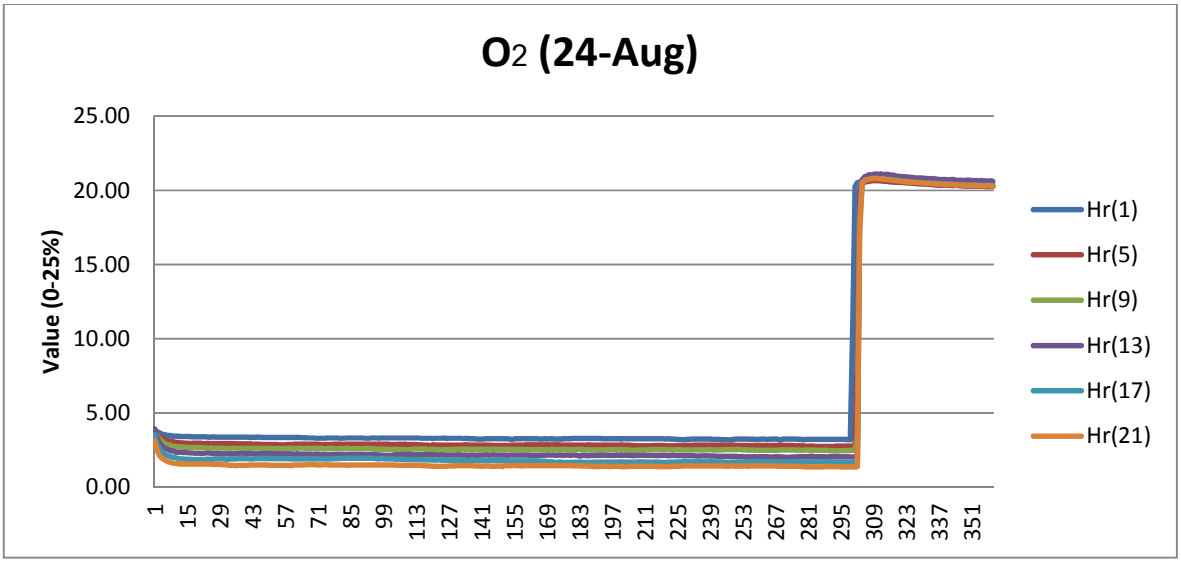


รูป 4.8 กราฟแสดงค่าปริมาณ H_2S ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 26 ส.ค.

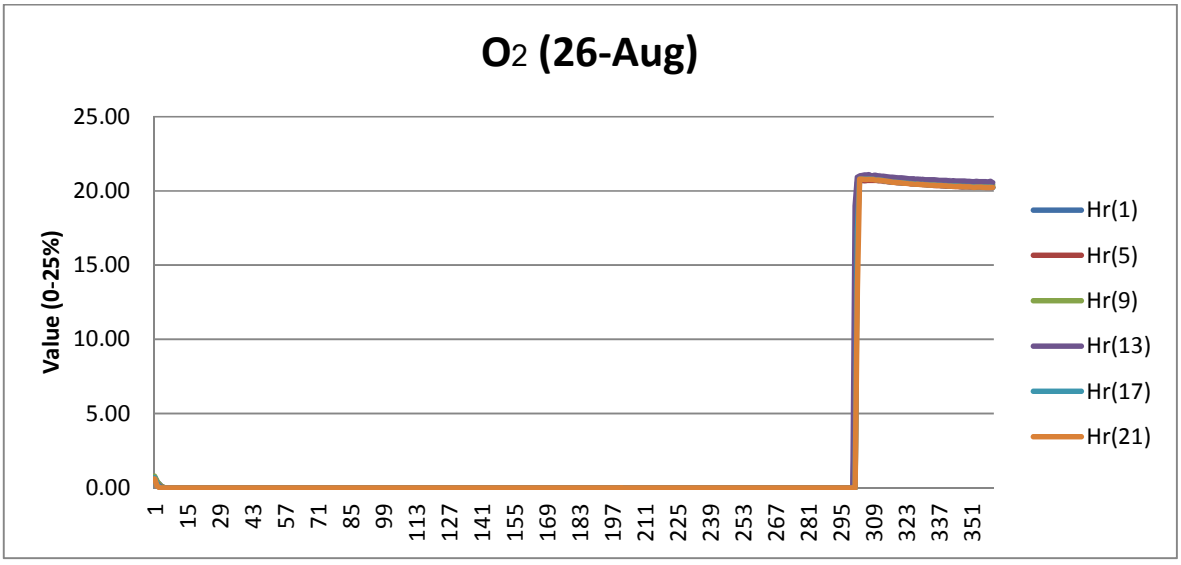


รูป 4.9 กราฟแสดงค่าปริมาณ H_2S ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 28 ส.ค.

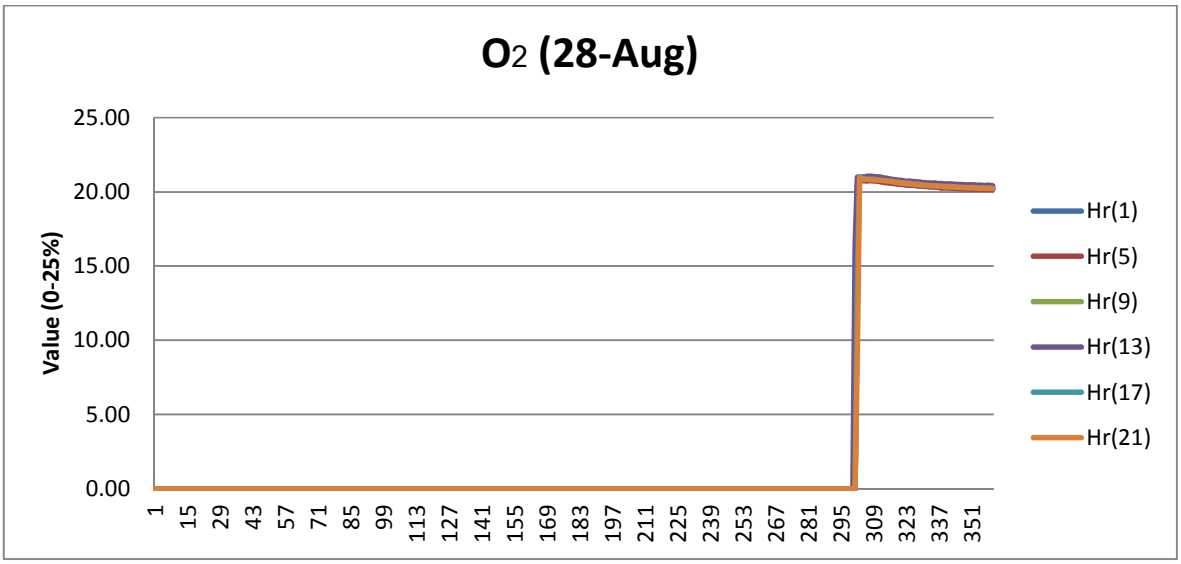
กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม ทุก 4ชม.



รูป 4.10 กราฟแสดงค่าปริมาณ O_2 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 24 ส.ค.



รูป 4.11 กราฟแสดงค่าปริมาณ O_2 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 26 ส.ค.



รูป 4.12 กราฟแสดงค่าปริมาณ O_2 ของโรงงาน A ผลิตน้ำมันปาล์ม วันที่ 28 ส.ค.

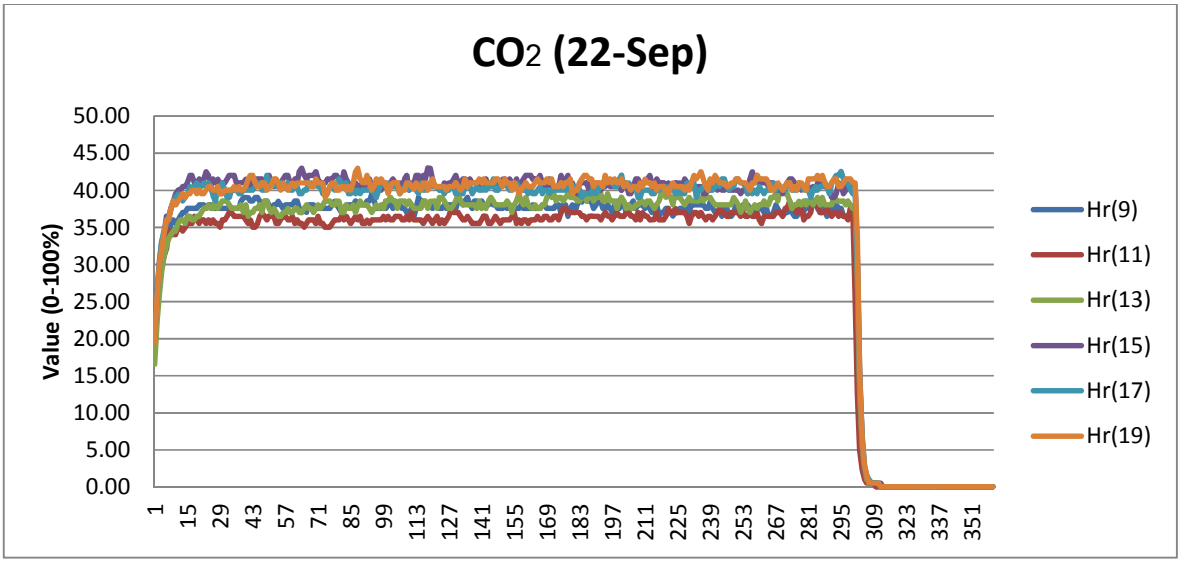
จากผลการบันทึกค่าก๊าซต่อเนื่องตลอดสองสัปดาห์ ค่าเฉลี่ยของก๊าซต่าง ๆ จากการการสุ่มข้อมูลทุก ๆ 4 ชั่วโมง จำนวน 3 วัน ได้ค่าเฉลี่ยของก๊าซต่าง ๆ ของบ่อหมักที่ผ่าน scrubber แล้วดังนี้

- ค่าเฉลี่ยของก๊าซ CO_2 ที่ตรวจวัดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 39.02
- ค่าเฉลี่ยของก๊าซ CH_4 ที่ตรวจวัดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 68.62
- ค่าเฉลี่ยของก๊าซ O_2 ที่ตรวจวัดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 0.78
- ค่าเฉลี่ยของก๊าซ H_2S ที่ตรวจวัดมีค่าอยู่ที่ 86.02 PPM

จากกราฟค่า T90 ของ

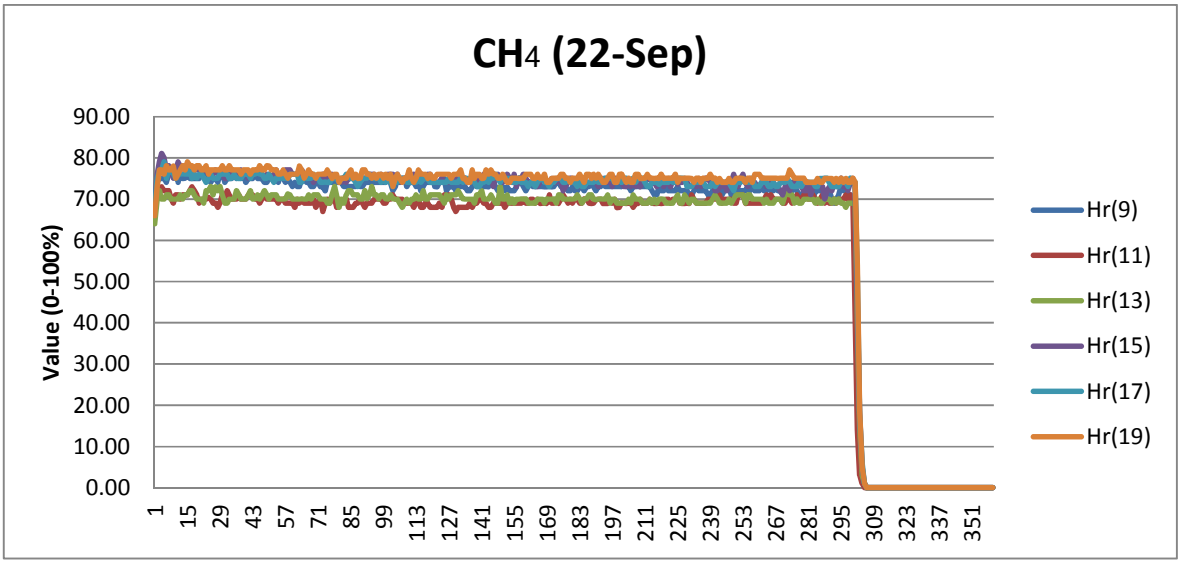
- Sensor ตรวจวัด CO_2 ใช้เวลาประมาณ 60 วินาที
- Sensor ตรวจวัด CH_4 ใช้เวลาประมาณ 40 วินาที
- Sensor ตรวจวัด O_2 ใช้เวลาประมาณ 50 วินาที
- Sensor ตรวจวัด H_2S ใช้เวลาประมาณ 30 วินาที

กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร



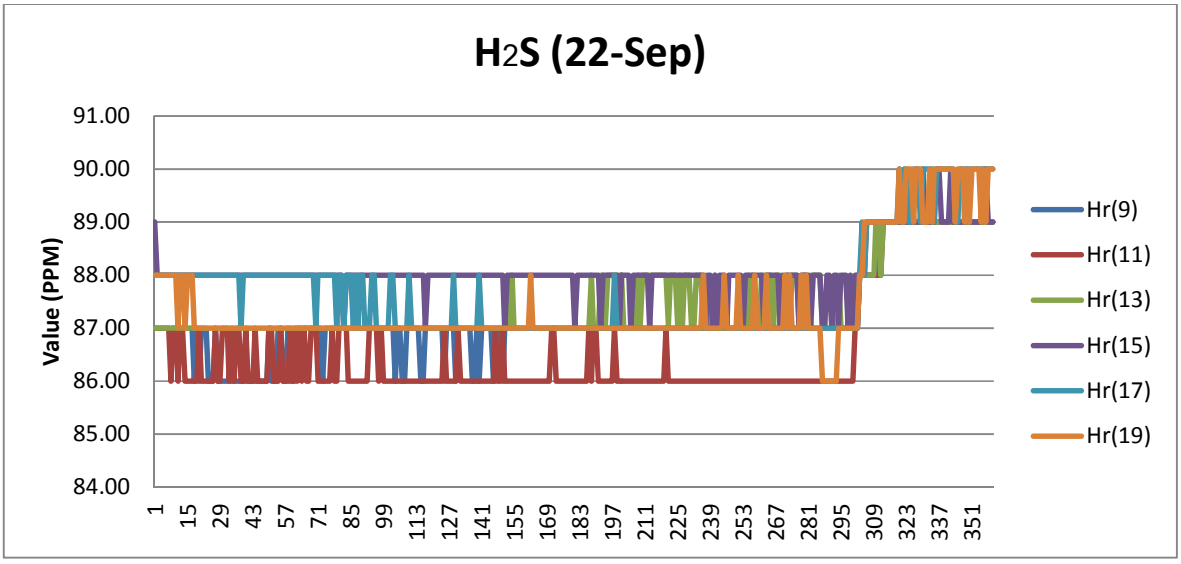
รูป 4.13 กราฟแสดงค่าปริมาณ CO_2 ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร วันที่ 22 ก.ย.

กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร



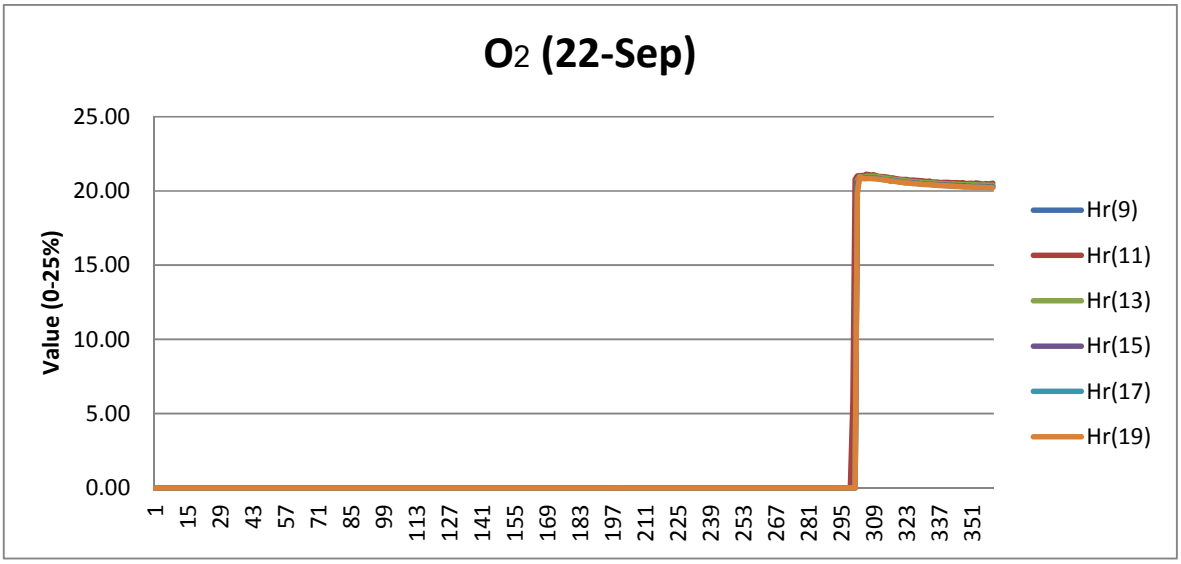
รูป 4.14 กราฟแสดงค่าปริมาณ CH_4 ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร วันที่ 22 ก.ย.

กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร



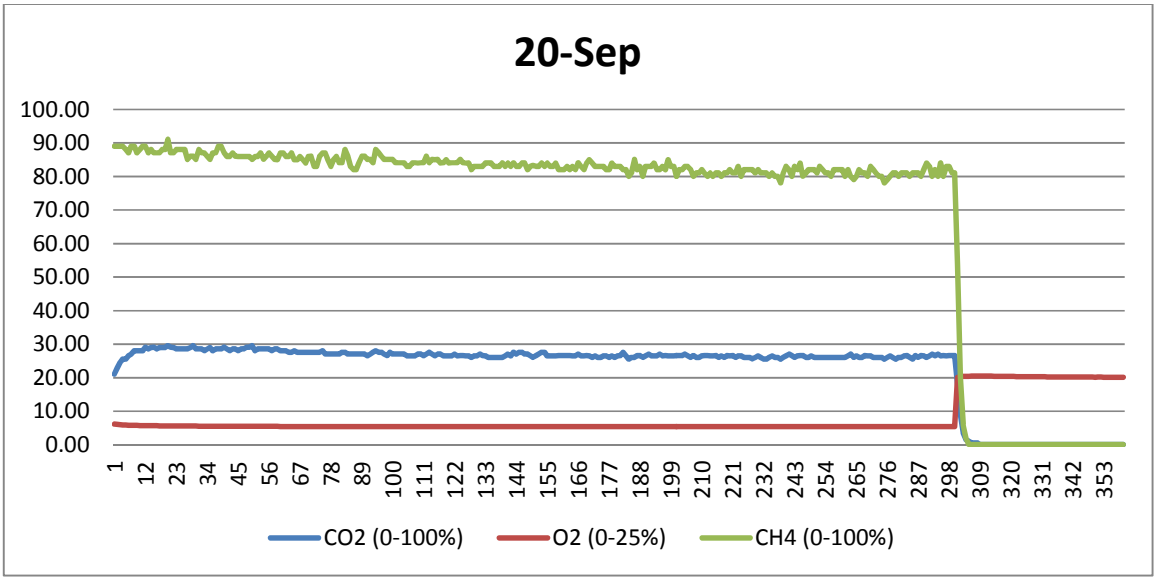
รูป 4.15 กราฟแสดงค่าปริมาณ H_2S ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร วันที่ 22 ก.ย.

กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร



รูป 4.16 กราฟแสดงค่าปริมาณ O_2 ของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร วันที่ 22 ก.ย.

กราฟแสดงข้อมูลองค์ประกอบก๊าซของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร



รูป 4.17 ข้อมูลองค์ประกอบก๊าซของโรงงาน B โรงเลี้ยงสุกร ระหว่างเวลา 8.00-9.00 วันที่ 20 Sep

จากผลการบันทึกค่าก๊าซต่อเนื่องตลอดสองสัปดาห์ ค่าเฉลี่ยของก๊าซต่าง ๆ จากการการสุ่มข้อมูลทุก ๆ 4 ชั่วโมง จำนวน 3 วัน ได้ค่าเฉลี่ยของก๊าซต่าง ๆ ของบ่อหมักที่ผ่าน scrubber แล้วดังนี้

- ค่าเฉลี่ยของก๊าซ CO_2 ที่ตรวจวัดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 38.99
- ค่าเฉลี่ยของก๊าซ CH_4 ที่ตรวจวัดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 72.99
- ค่าเฉลี่ยของก๊าซ O_2 ที่ตรวจวัดมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 0.00
- ค่าเฉลี่ยของก๊าซ H_2S ที่ตรวจวัดมีค่าอยู่ที่ 86.02 PPM

จากกราฟค่า T90 ของ

- Sensor ตรวจวัด CO_2 ใช้เวลาประมาณ 60 วินาที
- Sensor ตรวจวัด CH_4 ใช้เวลาประมาณ 40 วินาที
- Sensor ตรวจวัด O_2 ใช้เวลาประมาณ 50 วินาที
- Sensor ตรวจวัด H_2S ใช้เวลาประมาณ 30 วินาที

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ ได้นำเสนอการออกแบบระบบตรวจวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ โดยเลือกชนิดของเซ็นเซอร์ รวมทั้งระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซก่อนป้อนเข้าสู่ระบบตรวจวัด ที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน ด้วยราคาต่ำ และสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ตตรวจวัดคุณภาพก๊าซในอุตสาหกรรมก๊าซชีวภาพ ขาดกลางถึงขนาดเล็กได้ โดยเซนเซอร์ที่เลือกใช้เป็นแบบ electrochemical ซึ่งมีราคาถูกกว่าแบบ NDIR และใช้ silica gel และ ferric oxide ในการปรับลดความชื้น และ ก๊าซ Hydrogen Sulfide ก่อนป้อนเข้าสู่ระบบตรวจวัดคุณภาพก๊าซ

จากการทดสอบการใช้งานในโรงงานที่ผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในโรงงานและจำหน่ายคืนสู่ชุมชน จำนวน 2 โรงงาน เป็นเวลา 1 เดือน พบว่าระบบเซ็นเซอร์และระบบบันทึกข้อมูลสามารถตรวจวัดและบันทึกก๊าซ CH_4, CO_2, O_2 และ H_2S ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเซนเซอร์ที่เลือกใช้มีอายุใช้งานประมาณ 2 ปี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 20,000 บาท ต่อชนิดก๊าซ ต่อปี ซึ่งมีราคาถูกกว่าเซนเซอร์แบบ NDIR โดยระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซที่ออกแบบมา สามารถปรับลดความชื้นและปริมาณก๊าซ H_2S ได้ โดยสามารถใช้งานได้ประมาณ 2-5 เดือนต่อการเปลี่ยนชุดสาร 1 ครั้งคิดเป็นเงิน 300-900 บาทต่อปี ซึ่งมีราคาถูกกว่าอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพก๊าซทั่วไปประมาณ 3-10 เท่าตลอดอายุการใช้งาน

รูป 5.1 Ferric Oxide Desulferizer หลังจากผ่านการใช้งาน 280 ชั่วโมง ที่มี H_2S เฉลี่ย 300 ppm

6. เอกสารอ้างอิง

1. ทฤษฎีก๊าซชีวภาพ, Thailand Energy and Environment Network, Chiang Mai University http://www.thaibiogas.net/th/biogas
2. โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.), http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/introbiogas.php#0202
3. H. Praßl, et al., Biogas purification and assessment of the natural gas grid in Southern and Eastern Europe, BiG>East Report T2.5, 2008
4. (http://www.big-east.eu/downloads/Progress%20Report/ANNEX%201-4_WP2-Task2.5-Report_Biogas-Purification.pdf accessed on 08/2009)
5. Sample conditioners, (http://www.habmigern2003.info/future_trends/sample_conditioner/sample_conditioners.htm accessed on 08/2009)
6. Principle of peltier modules used in madur(r) gas coolers / driers, (http://www.habmigern2003.info/18_Peltier.html accessed on 08/2009)
7. Hammer, M. (1996), Water and Wastewater Technology. 3rd Ed., Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1996.